THE UNIVERSITY
OF ILLINOIS
LIBRARY
508.05
ZE
v.50

Return this book on or before the **Latest Date** stamped below. A charge is made on all overdue books.

University of Illinois Library

Aug 14

1/29/53

L161—H41

Digitized by the Internet Archive
in 2026 with funding from
University of Illinois Urbana-Champaign

https://archive.org/details/messtechnik5019unse

# ZEITSCHRIFT
FÜR
# INSTRUMENTENKUNDE

## Organ

für

**Mitteilungen aus dem gesamten Gebiete der wissenschaftlichen Technik**

Herausgegeben

unter Mitwirkung der

**Physikalisch-Technischen Reichsanstalt**

von

V. **Breithaupt** in Cassel, M. **Edelmann** in München, P. **Guthnick** in Neubabelsberg, O. **Günther** in Braunschweig, V. **Haensch** in Berlin, K. **Haußmann** in Schwäb.-Gmünd, C. **Hensoldt** in Wetzlar, W. **Hildebrand** in Freierg i. S., E. **Kohlschütter** in Potsdam, A. **Köhler** in Jena, F. **Löwe** in Jena, H. **Ludendorff** in Potsdam, I. **Maurer** in Berlin, W. **Nernst** in Berlin, M. v. **Rohr** in Jena, W. **Sartorius** in Göttingen, A. **Schmidt** in öln a. Rh., R. **Straubel** in Jena, E. **Warburg** in Berlin, F. **Weidert** in Berlin, P. **Werkmeister** in Dresden.

Schriftleitung: **F. Göpel** in Charlottenburg

**Fünfzigster Jahrgang 1930.**

Berlin.
Verlag von Julius Springer
1930.

Printed in Germany.

508.05
ZE
v.50

# Inhaltsverzeichnis.

Seite

An unsere Leser und Mitarbeiter . . . 1
Zur Geschichte der Zeitschrift für Instrumentenkunde. Von M. v. Rohr . . . 1
Über die geschichtliche Entwicklung der elektrischen Einheiten. Von H. v. Steinwehr . . . 19
Verbessertes Gewindemeßgerät. Von F. Göpel . . . 33
Dampfdrucke einiger wäßriger Lösungen und ihre Verwendung zur Herstellung bestimmter relativer Feuchtigkeiten. Von H. Ebert . . . 43
Über die Entwicklung der astronomischen Instrumente im Zeisswerk Jena. Von Fr. Meyer . . 58
Verzahnungsfragen, insbesondere das Profil kleinster Reibungsarbeit und die Invarianz gegen Achsenverschiebung. Von H. Bock . . . 99
Die Riefleruhr mit Schwerkrafthemmung. Von H. Bock . . . 109
Vakuummantelflaschen aus Metall für flüssigen Wasserstoff. Von W. Meißner und B. Voigt . 121
Kurventachymeter. Von O. Strohschneider . . . 141
Einige Beleuchtungseinrichtungen für das Saitengalvanometer. Von A. Köhler . . . 146
Wissenschaftliche und technische Fortschritte auf dem Gebiete des optischen Glases. Von E. Berger 155
Versuchsmessungen über Tage nach dem Prinzip des Breithauptschen Steckhülsenverfahrens. Von E. Harbert . . . 173
Beitrag zur Bestimmung der Konstanten von Fadenentfernungsmessern. Von P. Werkmeister 180
Die Berechnung der unbekannten Brechungsexponenten des Refraktometerprismas aus den bekannten Brechungsexponenten desselben. Von A. Karvonen . . . 185
Die Verzeichnungsfehler bei okularmikroskopischen Messungen am Mikroskop. Von W. Felgentraeger . . . 189
Ein Apparat zur Messung von Verschiebungen in der Sehrichtung. Von W. Linnik . . . 192
Ein elektrischer Nickelofen für metallkundliche Untersuchungen. Von H. v. Steinwehr und A. Schulze . . . 194
Über einen Komparator für Ausdehnungsmessungen fester Körper bis zu 1400° C. Von Willi M. Cohn . . . 198
Joseph Blacks „Mikrowaage" mit Reiterversatz. Von Max Speter . . . 204
Ein neuer Mikroprojektionsapparat für Unterricht, Verein und Haus. Von J. Preuß . . . 206
Die Tätigkeit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt im Jahre 1929 . . . 229, 285, 341
Bestimmung der inneren Orientierung der Kammer eines Phototheodolits. Von P. Werkmeister 246
Probeprismen zur Prüfung von Refraktometern. Von Robert Richter . . . 254
Elementare Theorie der Elektrometer, insbesondere des Fadenelektrometers. Von Eligio Perucca 257
Über eine Vorrichtung zur automatischen Elektrodennachstellung beim Unterwasserfunken. Von H. Conrad-Billroth . . . 268
Zur Wellentheorie und Beugungstheorie optischer Systeme. Von Johannes Picht . . . 308
Die Lagrangesche Formel für die Vergrößerung beim Zeiss-Wild-Fernrohr. Von P. Wilski . . 321
Eine Abänderung des Wintersteinschen Mikrorespirationsapparates. Von Friedrich Bock . . 322
Untersuchungen über Unterkühlungs- und Veränderungserscheinungen an verschiedenen Thermometerflüssigkeiten. Von Walter Grundmann . . . 363
Über die Bestimmung periodischer Fehler von Meßschrauben. Von Arnold Kohlschütter . . 370
Verkürztes Skalenfernrohr zur Messung von Winkelausschlägen. Von J. Koenigsberger . . . 374
Ein neues Verfahren zur Messung von Innengewinden. Von G. Berndt und E. Bock . . . 375
Eine vereinfachte Ausführung einer elektrisch anzeigenden Windfahne für beliebig viele Stromkreise. Von Rudolf Masek . . . 384
Über das Verhalten von Fieberthermometern. Von H. Ebert . . . 397
Ein neues Verfahren zur Messung von Innengewinden. Von G. Berndt und E. Bock . . . 407
Abänderungen und Ergänzungen an einem Hugershoff-Heydeschen Photogrammeter. Von H. Löschner . . . 416
Ein Hängetheodolit für den Ölbergbau. Von Karl Lüdemann . . . 423
Die lichtelektrische Zelle als Meßinstrument. Von R. Sewig . . . 426
Die Bergedorfer Plattenmesser für das Zonenunternehmen der Astronomischen Gesellschaft. Von R. Schorr und F. Dolberg . . . 445

912341

Seite
Über farbfreie Kompensatoren für Interferenzrefraktometer. Von G. Hansen . . . . . . . . 460
Die Intensitätsverteilung in einer Kreiszylinderwelle. Von Johannes Picht. . . . . . . . . 475
Meridianbestimmung mit dem Sonnenkompaß. Von V. Theimer . . . . . . . . . . . . . . . 477
Eine französische „Anleihe“ bei der deutschen geodätischen Feinmechanik. Von Karl Lüdemann 479
Beiträge zur Theorie des Doppelbild-Tachymeters von Bosshardt-Zeiss. Von Viktor Theimer. 493
Ermittlung der Zahnkranzfehler einer automatischen Kreisteilmaschine von G. Heyde nebst Bestimmung der Strichfehler eines auf dieser Maschine geteilten Kreises. Von F. Ackerl . 511
Ein neues selbstreduzierendes Tachymeter. (Dreibild-Tachymeter.) Von R. Hugershoff . . . 526
Der 27,5 cm-Hildebrand-Schraubenmikroskoptheodolit für die Haupttriangulation. Von K. Lüdemann . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 530
Über einige Neuerungen an Breithaupt-Instrumenten. Von G. Breithaupt und W. Uhink . 539
Untersuchung über die Genauigkeit der Scheibenrollplanimeter. Von Karl Ulbrich . . . . . 544
Über den Einfluß des erdmagnetischen Feldes auf die Schwingungszeiten von Nickelstahlpendeln. Von M. Rössiger . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 551
Über eine Abstimmvorrichtung der Halbsekundenpendel Stückrathscher Form. Von M. Rössiger 552
Über die Dezimalgleichung beim Ablesen von Skalen. Von Helmer Bäckström . . 561, 609, 665
Ermittlung zusammengehöriger Objekt- und Bildpunkte vermittels des Kardanproblems. Von K. Hoecken . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 575
Biegsame optische Geräte. Von Heinrich Lamm . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 579
Entladungsrohr zur Erzeugung eines lichtstarken kontinuierlichen Spektrums im Ultraviolett. Von Ernst Lau . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 581
Über einen Apparat zur Erzeugung von tonfrequenten Wechselströmen mit rechteckiger Kurvenform. Von W. Keil und R. Sewig . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 582
Neukonstruktionen der Firma Ferdinand Süss, Präzisionsmechanische und Optische Anstalt A. G. in Budapest . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 586
Wechselbad zur Materialprüfung. Von Richard Heilbrun . . . . . . . . . . . . . . . 590
Die Bestimmung der elastischen Konstanten. Von G. Berndt . . . . . . . . . . . . . 624, 679
Über Dickenmessungen unter dem Mikroskop. Von Karl John . . . . . . . . . . . . . . 638
Eine verkürzte Kreisbrücke mit zusätzlichen Widerständen. Von Joseph Biczyk . . . . . . 645
Eine Wald-(Berg-)Bussole mit Doppelbild-Entfernungsmesser. Von Karl Lüdemann . . . . 693
Über den Bau gutisolierender radioaktiver Kollektoren für luftelektrische Messungen. Von Walter Grundmann . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 695

## Berichte.

Ein Theodolit von Hugershoff-Heyde zur Bestimmung der inneren Orientierung einer Meßkammer 161
Eine Doppelkammer von Hugershoff-Heyde für stereophotogrammetrisch auswertbare Aufnahmen 162
Eine neue Meßlupe und ihre Verwendung als Ablesevorrichtung sowie als selbständiges Meßgerät. 162
Über die Anwendung der galvanometrischen Registriermethode in seismischen Gebieten . . . 163
Ein neues Seismometer mit elektromagnetischer Dämpfung und elektromagnetischer sowie optischer Vergrößerung . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 163
Über die Tiefenschärfe photographischer Objektive unter besonderer Berücksichtigung der Mikrophotographie (Vergrößerung) . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 164
Die Beziehungen zwischen Flächenhelligkeit und optimalem Gesichtsfeld in Beobachtungsinstrumenten . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 165
Absolute Methoden der Reflexionsmessung . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 166
Die Fehler eines reflektierenden Prismas . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 166
Über Aufnahmen der Sonne durch Ultraviolettstrahlen und Fluoreszenslicht . . . . . . . . 166
Ein Chronograph hoher Präzision . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 167
Akustischer Dehnungsmesser . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 169
Ein empfindliches Mikromanometer . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 169
Bimetall . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 170
Ein neues Pendel mit unveränderlicher Schwingungszeit . . . . . . . . . . . . . . . . 209
Über Eigenschaften einer Stimmgabel aus geschmolzenem Quarz . . . . . . . . . . . . . 211
Untersuchungen über die Abhängigkeit der Meßgenauigkeit von der künstlichen Beleuchtung . 212
Über eine Methode zur Bestimmung des periodischen Fehlers eines Mechanismus . . . . . . 212
*The Tavistock* Theodolite . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 212

Seite
Eine Interferenzmethode zur Bestimmung der Aberrationen auf der Achse und in schiefen Bündeln 213
Eine Anwendung des Interferometers auf die Winkelmessung von Prismen . . . . . . . . . 214
Die Messung der achsialen Aberrationen von teleskopischen Systemen geringer Vergrößerung . 215
Ein Satz über die Brechung von Lichtstrahlenbündeln. Anwendung auf die Berechnung der Leuchtdichte . . . . . . . . . . 216
Über den Durchgang schiefer Bündel durch ein symmetrisches Instrument . . . . . . . . . 217
Reflektierende Systeme für Bildumkehr . . . . . . . . . . 217
Einige Notizen zu alten englischen Objektiven . . . . . . . . . . 217
Über die Entwicklung der Brillen in London seit dem Ende des 17. Jahrhunderts . . . . . . 218
Photographien von Reflexions-Kaustiken . . . . . . . . . . 218
Objektive und Werkstoffe für Ultraviolett-Photographie . . . . . . . . . . 218
Ein neuer Trommelaufnahme-Apparat . . . . . . . . . . 219
Über den photoelektrischen Effekt des Aluminiums und seiner Amalgame I . . . . . . . . . 220
Zur Frage der Küstenbrechung und Peilschwankung elektromagnetischer Wellen . . . . . . 220
Vakuumtechnische Neuerungen für Hochvakuumapparaturen . . . . . . . . . . 220
Ein- und Ausführung von Platten und Filmen an Kathodenoszillographen ohne Störung des Hochvakuums . . . . . . . . . . 222
Zur Beurteilung von Eisenkernen in der Schwachstromtechnik . . . . . . . . . . 223
Über den Einfluß der Korngröße auf die magnetischen Eigenschaften des Eisens . . . . . 223
Der Wild-Autograph. — Zur Theorie des Wild-Autographen . . . . . . . . . . 272
Die Entwicklung der photogrammetrischen Auswertungsgeräte in Deutschland . . . . . . . 272
Die Definition der effektiven Wellenlängen von Farbgläsern für Zwecke der optischen Pyrometrie 273
Dioptrische Untersuchungen . . . . . . . . . . 273
Das Reflexionsvermögen einiger Substanzen im äußersten Ultraviolett . . . . . . . . . . 274
Herstellung und Sensitometrie sehr feinkörniger photographischer Platten; Platten für Interferenzen-Photographie . . . . . . . . . . 274
Über einen Thermostaten für $^1/_{1000}$ Grad Cels. Temperaturkonstanz . . . . . . . . . . 275
Über ein neues elektrisches Registriergerät . . . . . . . . . . 276
Tellur-Thermoelemente . . . . . . . . . . 277
Über einige Eigenschaften von Photozellen . . . . . . . . . . 277
Über registrierende Vakuummeter . . . . . . . . . . 279
Ein neues Pirani-Vakuummeter . . . . . . . . . . 280
Ein neues McLeod-Manometer . . . . . . . . . . 280
Nichtporöse Aluminiumlegierungen für vakuumdichte Gußstücke . . . . . . . . . . 280
Sternradgetriebe . . . . . . . . . . 330
Ein neuer Hochseepegel . . . . . . . . . . 332
Rohrkamera . . . . . . . . . . 334
Neue Untersuchungen des Temperaturkoeffizienten von Stahl und Elinvar . . . . . . . . . 336
Piëzoelektrische Messungen von Druck- und Beschleunigungskräften . . . . . . . . . . 386
Über die Prüfung eines neuen photographischen Verschlusses . . . . . . . . . . 387
Einfluß der Ionisierung auf die Sauggeschwindigkeit von Diffusionspumpen . . . . . . . . 389
Ultramikroskopische Untersuchung von Luftschwingungen . . . . . . . . . . 389
Registriergalvanometer . . . . . . . . . . 390
Justierbarer Wandarm für Spiegelgalvanometer . . . . . . . . . . 391
Wasserstrahlgebläse für Laboratorien . . . . . . . . . . 391
Vakuumbogenlampe . . . . . . . . . . 392
Über ein Strömungsmanometer . . . . . . . . . . 481
Ein Instrument zur optischen Prüfung der Linsen im Sonnenscheinautographen . . . . . . . 481
Zur Theorie des Hörens. Über die eben merkbare Amplituden- und Frequenzänderung eines Tones. Die Theorie der Schwebungen . . . . . . . . . . 482
Kinematographie auf ruhendem Film und mit extrem hoher Bildfrequenz . . . . . . . . . . 482
Über die Fehler der Scheitelspannungs-Messung vermittels röhrengleichgerichtet. Kondensatorstrom 483
Über einen neuen Apparat zur Registrierung der Ausschläge von Ein- und Zweifaden-Elektrometern 484
Eine elektromagnetische „Gleichungswaage" . . . . . . . . . . 484
Beitrag zur Erhöhung der Genauigkeit thermoelektrischer Temperaturmeßanlagen . . . . . . 485
Über eine Methode zur Erzeugung langer Metall-Einkristalle und über Untersuchungen der die Kristall-Orientierung und Vollkommenheit beeinflussenden Umstände . . . . . . . . 485

Seite
Über einen Impulszähler und seine Anwendung . . . . . 487
Nievellierinstrument von Otto Fennel Söhne mit Einstellung der Libelle im Gesichtsfeld des Fernrohres . . . . . 554
Das Präzisions-Nivellierinstrument von H. Wild . . . . . 556
Eine neue Bauart der Rechenmaschine „Hamann-Automat“ . . . . . 558
Untersuchungen über die Genauigkeit von Längenbestimmungen auf funktelegraphischem Wege unter besonderer Berücksichtigung der Zenithrefraktion . . . . . 558
Neue Möglichkeiten des Präzisionsuhrenbaus . . . . . 559
Kontinuierlich ablesbares Vakuummeter für mittlere Drucke . . . . . 592
Einfluß der Thermometeraufstellung auf die Temperaturaufzeichnungen in Wien, Hohe Warte. 592
Über zwei Hitzdraht-Viskosimeter . . . . . 593
Rechenschieber für Feuchtigkeitsmessungen . . . . . 593
Beschreibung eines bifilar aufgehängten, an Bord elektrisch registrierenden Strommessers . . 594
Das Prisma, dessen Brechungsindex kleiner als 1 ist . . . . . 595
Über einen Quarzspektrographen . . . . . 595
Über einen neuen Quarzspektrographen . . . . . 596
Plangitterspektroskope mit Wellenlängentrommel . . . . . 597
Ultrarote Strahlen zur Signalgebung und Orientierung im Nebel . . . . . 598
Radioaktive Leuchtfarben, ihre Verwendung und Beurteilung . . . . . 599
Über zwei Apparate nach B. Macku . . . . . 600
Das selbstgleichrichtende Röhrenvoltmeter . . . . . 602
Ausschaltung magnetischer Störungen bei hochempfindlichen Nadelgalvanometern . . . . . 603
Über metallographisches Polieren und eine selbsttätige Poliermaschine . . . . . 603
Ein Viskosimeter für kleine Flüssigkeitsmengen nach E. Madelung . . . . . 647
Die Struktur des Windes . . . . . 649
Brechungszahlen-Messung am Prisma und gewisse goniometrische Erfordernisse aus Gründen der Genauigkeit . . . . . 650
Relative Sichtbarkeit der Lichtblitze von Neonlampen und von Glühlampen mit und ohne Rotfilter 652
Über die Herstellung und Verwendung von Luftbildplänen . . . . . 653
Zur Theorie photogrammetrischer Auswertegeräte . . . . . 653
Über einen Apparat zur Bestimmung der thermischen Ausdehnung fester Körper bei hohen Temperaturen . . . . . 653
Ein neues Hochspannungselektrometer . . . . . 655
Der Einfluß des Ziehens auf den Temperaturkoeffizienten des elektrischen Widerstandes bei Konstantan . . . . . 655
Vorrichtung zum Schutz der Quecksilberdampflampen mit Wasserstromkühlung . . . . . 656
Vergleich von Selen- und Photozellen . . . . . 657
Über eine Methode, kurze Zeitintervalle mit Hilfe eines unmittelbar anzeigenden Instruments zu messen . . . . . 657
Über die Verwendung selbsttätiger photographischer Zeitauslöser als Präzisionszeitmeßgeräte . 658
Einheitliche Bezeichnungen für technische Zeitmeßinstrumente . . . . . 658
Über das Schmelzen und Bearbeiten des Rhodiums und einige seiner physikalischen Eigenschaften 659
Die Besonderheiten der Schmiertechnik bei feinmechanischen Instrumenten unter Berücksichtigung neuerer Forschungsergebnisse . . . . . 660
Über die Theorie der indizierenden Apparate . . . . . 697
Komparator neuer Bauart . . . . . 702
Apparat Idrac zur Aufzeichnung der Geschwindigkeit und Richtung von Meeresströmungen . 703
Optische Neuerungen auf der Achema . . . . . 705
Die Registrierung von Pendelschwingungen mittels kapazitiver Kontakte . . . . . 706
Die Registrierung von Pendelschwingungen ohne elektrische Kontakte . . . . . 707
Die Registrierung der Schwingungen eines Schwerkraftpendels mittels hochfrequenter elektrischer Schwingungen und ihre Rückwirkung auf das Pendel . . . . . 707
Eine elektrische Meßdose nach dem Prinzip des Kondensatormikrometers . . . . . 708
Schnittdruckmessungen an der Drehbank mit einer elektrischen Meßdose . . . . . 708
Untersuchungen über Herzgeräusche . . . . . 708
Druckmessungen an Walzenlagern . . . . . 709

## Bücherbesprechungen.

Seite

M. v. Rohr, Joseph Fraunhofers Leben, Leisten und Wirksamkeit . . . . . . . . . . . . . 118
F. Kögler, Taschenbuch für Berg- und Hüttenleute . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 119
R. Hallo, Die Sternwarten Kassels in hessischer Zeit . . . . . . . . . . . . . . . . . . 224
J. Bonsdorff, Verhandlungen der baltischen geodätischen Kommission . . . . . . . . . . . 225
J. Koppmair, Nadirtriangulierung . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 226
Hugo Freund, Leitfaden der kolorimetrischen Methoden . . . . . . . . . . . . . . . . . . 226
Ingenieur-Archiv . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 280
G. Berndt, Grundlagen und Geräte technischer Längenmessungen . . . . . . . . . . . . . . 281
A. König, Geometrische Optik . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 281
W. Guertler und W. Leitgebel, Der metallische Werkstoff . . . . . . . . . . . . . . . . 283
Michael Pupin, Vom Hirten zum Erfinder . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 284
Die Schalltechnik . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 284
F. A. Vening Meinesz, *Theory and practice of pendulum observations at sea* . . . . . . . . 339
H. Mark, Die Verwendung der Röntgenstrahlen in Chemie und Technik . . . . . . . . . . . 339
Müller-Pouillets Lehrbuch der Physik, 11. Auflage, Bd. 1 und Bd. 2 . . . . . . . . . . 392, 393
H. Lundegårdh, Die quantitative Spektralanalyse der Elemente . . . . . . . . . . . . . . 394
Die Röntgen-Literatur, IX. Teil, 1928 . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 395
R. Rüdenberg, Relais und Schutzschaltungen in elektrischen Kraftwerken und Netzen . . . 396
F. Auerbach und W. Hort, Handbuch der physikalischen und technischen Mechanik . . . 396
Neue Preisliste von Gustav Heyde Ges. für Optik und Feinmechanik m. b. H. in Dresden-N. 23 . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 396
P. Wilski, Lehrbuch der Markscheidekunde . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 438
*The National Physical Laboratory, Report for the year 1928* . . . . . . . . . . . . . . . 439
Werner Skirl, Wechselstrom-Leistungsmessungen . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 441
Paul Schrott, Praktische Optik . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 441
A. Thomälen, Kurzes Lehrbuch der Elektrotechnik . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 442
L. Schrutka, Theorie und Praxis des logarithmischen Rechenschiebers . . . . . . . . . . 443
Theodor Vahlen, Deviation und Kompensation . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 487
B. Gutenberg, Lehrbuch der Geophysik (Lief. 5) . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 491
Clarence Augustus Chant, Die Wunder des Weltalls . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 491
G. Berndt, Die deutschen Gewindetoleranzen . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 492
Hans Hederich, Der Lizenzvertrag . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 492
Neue Preisliste Nr. 6 von B. Halle Nachf., Berlin-Steglitz . . . . . . . . . . . . . . . 492
Neue Preisliste der E. Leybolds Nachfolger A.G. in Köln-Berlin . . . . . . . . . . . . . 492
H. Boegehold, Über die Entwicklung der Theorie der optischen Instrumente seit Abbe . . 604
A. Nippoldt, J. Keränen, E. Schweidler, Einführung in die Geophysik II . . . . . . . . 661
L. H. G. Dines, *The Dines balloon meteorograph and the methode of using it* . . . . . . . . 662
H. J. Gramatzki, Hilfsbuch der astronomischen Photographie . . . . . . . . . . . . . . . 662
Manfred von Ardenne, Verstärkermeßtechnik, Instrumente und Methoden . . . . . . . . . 663
P. Arcay, *Les huiles en horlogerie* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 663
Die Photographie in Wissenschaft und Praxis . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 664
P. Schmalzl, Zur Geschichte der Quadranten bei den Arabern . . . . . . . . . . . . . . . 709

**Einführung des Begriffes „Halbschwingung“ bei Zeitmessern** . . . . . . . 120
**Zum 70. Geburtstag von Dr. W. Heraeus** . . . . . . . . . . . . . . . . . 120
**Fehlerberichtigung** . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 172, 396
**Zuschrift** . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 227
**Ferienkurs in Jena** . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 228
**4. Internationaler Kongreß der Geometer in Zürich 11.—14. Sept 1930** . . 443
**100 Jahre P. J. Kipp & Zonen in Delft** . . . . . . . . . . . . . . . . . . 444
**Namen- und Sachregister** . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 713
**Verzeichnis der Berichterstatter des Jahrgangs 1930** . . . . . . . . . . . 722

508.05
ZE
v.50

# Zeitschrift für Instrumentenkunde.

*Kuratorium:*

Prof. Dr. E. **Kohlschütter** in Potsdam, Vorsitzender, Prof. Dr. R. **Straubel** in Jena,
Prof. Dr. F. **Weidert** in Berlin-Zehlendorf, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat Prof. Dr. F. **Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

50. Jahrgang. **Januar 1930.** Erstes Heft.

## An unsere Leser und Mitarbeiter!

Dem Brauche folgend eröffnet unsere Zeitschrift ihren fünfzigsten Jahrgang durch Herausgabe eines umfangreichen Jubiläumshefts in der Absicht, alte Verbindungen mit ihren Lesern und Mitarbeitern zu festigen und neue zu knüpfen.

Möge unser Wunsch, das Ansehen der Zeitschrift für Instrumentenkunde im Inland und im Ausland für die Zukunft zu erhalten und zu mehren bei Allen freundliche Unterstützung finden, denen, entsprechend dem unverändert gebliebenen Gründungsprogramm der Zeitschrift, „die Wiederbelebung eines engeren fruchtbringenden Verkehrs zwischen den Vertretern der Wissenschaft und denen der mechanischen Kunst“ am Herzen liegt.

**Kuratorium, Schriftleitung und Verlag**
der
**Zeitschrift für Instrumentenkunde.**

## Zur Geschichte der Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Von
**M. von Rohr** in Jena.

Von der Schriftleitung der Zeitschrift bin ich zur Abfassung einer Geschichte, die das erste Heft des 50. Jahrgangs[1] eröffnen soll, aufgefordert worden und kann einer solchen Aufgabe nur mit Freude nachgehen.

### Die Zeit der Vorbereitung.

Es wird heute niemand mehr geben, der werktätig auf dem Gebiete der Feinoptik und -mechanik arbeitete und doch schon seinen Beruf in einer Zeit ausübte, wo die Zeitschrift für Instrumentenkunde noch nicht begründet war. Um so notwendiger wird es sein, sich diese fernliegende Zeit einmal lebhaft in das Gedächtnis zurückzurufen. Wir versetzen uns also in das Frühjahr des Jahres 1880.

Die wirtschaftliche Lage im Vaterlande ist merklich gedrückt, denn die Wirkungen der neuen Schutzpolitik der Regierung machen sich noch nicht fühlbar. Das Patentamt ist erst seit einigen Jahren — seit dem Juli 1877 — in Tätigkeit und die Möglichkeit eines billigen Schutzes durch Gebrauchsmuster noch nicht geschaffen.

Der Umfang der optischen Werkstätten, die meistens nur ein einzelnes Sondergebiet oder höchstens ihrer wenige pflegten, ist nach unsern heutigen Begriffen un-

[1] Es handelt sich also noch nicht um das 50jährige Bestehen der Zeitschrift, wie ja das 25jährige erst im Januar 1906 gefeiert worden ist. In Übereinstimmung mit meiner Bemerkung bei der Central-Zeitung für Optik und Mechanik halte ich mich auch hier zu einem solchen Hinweis verpflichtet.

gemein bescheiden: im Jahre 1878 arbeiteten bei Zeiss 42 Erwachsene und 8 Lehrjungen in der Werkstatt, und dazu wird eine ganz geringe Zahl von kaufmännischen Angestellten gekommen sein. Bei E. Busch in Rathenow mögen zu dieser Zeit gegen 300 Personen Arbeit gefunden haben.

Der Wirtschaftskampf mit dem Ausland ist auf optischem Gebiete sehr fühlbar: in Feld- und Operngläsern kann E. Busch in Rathenow nur mit Anstrengung dem Wettbewerbe von Paris begegnen und findet sich tagaus, tagein durch die Schwierigkeit gehemmt, brauchbares Glas zu beziehen, das er ebenfalls wieder in Paris einkaufen muß. Auch in großen Himmelsfernrohren ist der ausländische, hier der englische, Wettbewerb mächtig, und noch jüngst, 1875, ist der große Wiener Refraktor, ein 27-Zöller (73 cm), bei dem irischen Hause Grubb bestellt (und im Winter 1882/83 auch geliefert) worden. Vergleicht man etwa damit die Durchmessergrößen im Merzischen (nicht über 18″ = 49 cm) oder im Schröderschen Hause (nicht über 11″ = 30 cm), so erkennt man den gewaltigen Vorsprung. Kein Wunder, daß die Stimmung der einschlägigen Gewerbsleute ganz im allgemeinen nicht rosig ist und daß man die Lage des Gewerbes zu heben sucht.

Wenn man nach einem Anfang Januar 1880 abgefaßten Bericht[1] urteilt, so hat man zuerst im Spätherbst 1873 seine Aufmerksamkeit auf den Niedergang der Präzisionsmechanik in Preußen und besonders in Berlin gerichtet. Es war der Leiter des militärischen Vermessungsamts in Preußen, O. von Morozowicz, der seine Aufmerksamkeit darauf lenkte und Anlaß gab zur Einsetzung eines Ausschusses, der mit der Ausarbeitung von „Vorschlägen zur Hebung der wissenschaftlichen Mechanik und Instrumentenkunde“ betraut wurde. Neben den Amtspersonen, die dienstlich dorthin abgeordnet wurden, hat der Ausschuß dann auch noch außenstehende Größen der wissenschaftlichen Welt hinzugewählt, und zwar waren es der alphabetischen Reihe nach die Gelehrten Du Bois-Reymond, Foerster, Gallenkamp, Helmholtz, Neumayer, Reuleaux, Schellbach und Werner Siemens. Diese Namen sind insofern für uns von merklicher Wichtigkeit, als eine Reihe davon später in der Geschichte unserer Zeitschrift eine Rolle spielt, obwohl durchaus nicht alle wirklich tätigen Anteil an ihrem Ergehen nahmen.

Die Ausschußsitzungen waren zunächst nur zur Aufklärung für das Staatsministerium bestimmt, führten aber im Laufe der Zeit zur Abfassung einer Denkschrift, die im Sommer 1876 an den Landtag gelangte und dort auch Aufmerksamkeit erregte. Man kann gleich an dieser Stelle hervorheben, daß die Verhandlungen zur Gründung der späteren Physikalisch-Technischen Reichsanstalt hier ihren Anfang nahmen; einige der oben aufgeführten Namen, namentlich der letzte von W. Siemens, ist gerade für diese Behörde von der allergrößten Wichtigkeit geworden. Man kann schon jetzt bemerken, daß eine Geschichte der Physikalisch-Technischen

[1] R. Fuess hat an verschiedenen Stellen, namentlich auch in seinem auf L. Loewenherz gesprochenen Nachruf, darauf hingewiesen, daß die erste Anregung zur Besserung schon 1872 von K. H. Schellbach (* 25. XII. 1805, † 29. V. 1892) ausgegangen sei. Da Fuess selber um diese Zeit bereits ein selbständiger Meister war und ferner in einer eingehenden persönlichen Berührung zu Schellbach stand, so gehört es sich wohl, auch auf seine öffentlich vertretene Ansicht hinzuweisen. Schellbachs Aufnahme in den sogleich zu erwähnenden amtlichen Ausschuß und seine Einreihung unter die Herausgeber der Zeitschrift für Instrumentenkunde passen sehr wohl zu der Fuessischen Darstellung.

Zu weiterer Bekräftigung davon sei noch daran erinnert, daß in dem feierlichen Rückblick auf die ersten 25 Jahre dieser Zeitschrift genau der gleiche Standpunkt vertreten wurde.

Reichsanstalt auch für unsere Aufgabe von Bedeutung wäre; doch ist sie bis jetzt nicht geschrieben worden und verlangte auch nicht unbeträchtliche Vorarbeiten, die nur auf Grund der Akten des Preußischen Ministeriums für Wissenschaft, Kunst und Volksbildung ausgeführt werden könnten.

Während, soweit die Öffentlichkeit in Betracht kam, im allgemeinen die hier besprochenen Gedankenreihen um das Ende der siebziger Jahre ruhten, hat man sich in dem engeren Kreise der Mechaniker Berlins mit einem Teil dieser Aufgaben eben um diese Zeit beschäftigt, da sich gerade eine günstige Gelegenheit dafür bot.

Im Jahre 1879 wurde in Berlin eine örtliche Gewerbeausstellung abgehalten, und schon ziemlich früh fand sich in dem Kreise des „Fach-Vereins Berliner Mechaniker und Optiker" die Anregung, einen wirklich sorgfältigen Bericht über die neuen, auf jener Ausstellung dargebotenen Geräte und Vorkehrungen abzustatten.

Wir wissen nicht genau, wer die hauptsächlich treibende Kraft bei diesen Vorschlägen war, aller Wahrscheinlichkeit handelte es sich um zwei Persönlichkeiten, nämlich um Carl Bamberg[1] und um Leopold Loewenherz[2].

Daß in der Tat um diese Zeit an die Fortbildung der Mechaniker gedacht wurde, ergibt sich nach[3] aus einem Schreiben W. Foersters vom Mai 1877, worin er eine „Fachzeitung für Präzisionsmechanik im weitesten Sinne" vorschlägt. Der Gedanke mag bei Bamberg eingeschlagen haben, wie sich aus dem folgenden Schriftstück in Bambergs Hand schließen läßt. Es findet sich in den Gründungsakten der Zeitschrift für Instrumentenkunde und scheint in dem auf die Gründung des Fach-Vereins Berliner Mechaniker und Optiker folgenden Jahre, also 1878, niedergeschrieben zu sein. Der Wortlaut möge hier folgen.

---

[1] Carl Bamberg (* 12. VII. 1847, † 4. VI. 1892) war, was kurz bemerkt werden möge, am 12. Juli 1847 im Weimarischen geboren, hatte vom Mai 1862 ab $4^1/_2$ Jahre bei C. Zeiss als Lehrling und als Gehilfe gearbeitet und teils von dieser Stellung aus, teils als Student vom Herbst 1866 bis Ostern 1868 Vorlesungen an der Jenaer Universität gehört. Er hat in Berlin in den folgenden 3 Jahren an seiner wissenschaftlichen Weiterbildung gearbeitet und sich im Herbst 1871 als Mechaniker in Berlin niedergelassen. Mit dem alten Lehrherrn und mit E. Abbe blieb er dauernd in freundschaftlicher Verbindung. In Berlin kam er gut ins Geschäft, und zwar hat er zuerst namentlich in G. Neumayer (* 1826, † 1909) einen Förderer gehabt, doch fand er später auch bei W. Foerster, H. Helmholtz sowie O. v. Morozowicz viel Entgegenkommen.

[2] Leopold Loewenherz (* 31. VII. 1847, † 30. X. 1892) wird 1870 gleich nach der Promotion Hilfsarbeiter bei der Normal-Eichungs-Kommission unter W. Foerster. Er wird 1876 zur Beschäftigung mit der Leih-Ausstellung zu South Kensington nach London geschickt und lernt dabei auch englische Fachleute kennen. Unter seiner Mitwirkung entsteht 1877 der Berliner Fachverein der Mechaniker, der 1879 bereits eine Eingabe an das Unterrichtsministerium macht, eine Anstalt zur Pflege der Präzisionsmechanik zu begründen. Diese Bestrebungen vereinigten sich mit den oben angegebenen anderen und führten schließlich zur Errichtung der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt. Die Berichterstattung über die Berliner Gewerbe-Ausstellung brachte unter Loewenherzens Mitarbeit Gelehrte und Gewerbsleute in engere Fühlung. 1887 wurde Loewenherz Direktor der technischen Abteilung an der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt. Er hat um diese Zeit auch das gesellige Leben in der Gesellschaft für Mechanik und Optik gefördert und das Seinige dazu getan, das Vereinsblatt der Gesellschaft von dem 15. Mai 1891 ab erscheinen zu lassen. Der Gedanke einer Kollektivausstellung in Chicago geht auf ihn zurück.

[3] Feldhaus, Franz M., Carl Bamberg. Ein Rückblick auf sein Wirken und auf die Feinmechanik. Berlin-Friedenau, Askania-Werke/Bambergwerk, 1929. gr. 8°. 81 S. (Das Titelbild eingeschlossen =) 52 Abb., 2 Tfln. u. 1 Ahnentfl. — Besprechung in *dieser Zeitschr.* ***49,*** *S. 368. 1929.*

Entwurf
für die Gründung einer Fach-Schrift durch den Fach-Verein Berliner Mechaniker u. Optiker.

Schon bei der Gründung des Fach-Vereins Berliner Mechaniker u. Optiker im September 1877 wurde in dem publizierten Programme die Gründung einer Fachschrift ins Auge gefaßt, sobald die Beteiligung an den Bestrebungen des Vereins genügend groß und seine Lebensfähigkeit sich dokumentiert habe. Beides ist in erfreulicher Weise geschehen, und kann der Verein wohl mit Befriedigung auf seine Tätigkeit im ersten Vereinsjahr nach den verschiedensten Richtungen hin blicken. Freilich gibt es in den bereits angestrebten Bahnen noch viel und ernste Arbeit, doch schließt dies nicht aus, einen Schritt weiterzugehen in der Erledigung unseres Programmes, denn rege Arbeit und emsiges Schaffen hütet vor Erschlaffung; und dürfen wir gerade in der Gründung einer zweckmäßig redigierten Fachschrift ein mächtiges Mittel erkennen für die Verbreitung unserer — auf fachliche Vervollkommnung und Beseitigung allgemein anerkannter Mißstände gerichteten — Bestrebungen auch in weiteren Kreisen unseres Vaterlandes.

Aber nicht nur uns Fachgenossen wird ein solches Organ von Nutzen sein, sondern auch die interessierten Gelehrtenkreise dürften dasselbe willkommen heißen und unterstützen, wie dies uns von hervorragenden Gelehrten, die überhaupt ihr Interesse für unser Streben in liebenswürdigster Weise durch Wort und Tat bekräftigt haben, versichert worden ist.

Das Fachblatt könnte den Titel führen:

„Zeitschrift für die Technik wissenschaftlicher Apparate.“ Organ des Fach-Vereins Berliner Mechaniker und Optiker und könnte dem Inhalt nach in folgender Weise organisiert sein.

I. Abhandlungen nach Vorträgen, die im Fach-Verein B. M. u. O. gehalten worden sind, sowie streng wissenschaftliche Abhandlungen über Themen, welche für die Konstruktion wissenschaftlicher Apparate von Wichtigkeit sind.

II. Bekanntmachung von Beschreibung und Abbildung neuer Instrumente und Apparate der Meß-, Beobachtungs- und Experimentierkunst; Verbesserungen an vorhandenen Apparaten usw., Rektifizierung und Gebrauch derselben.

III. Kritische Beurteilung von Apparaten, die sich im Gebrauch bewährt oder nicht bewährt haben, sowie Vorschläge über Verbesserungen und Abänderungen an solchen. Vorschläge für Konstruktion neuer Instrumente und Hinweis auf wichtige Punkte, die dem Mechaniker oftmals entgehen.

IV. Kritische Abhandlungen und Erklärungen neuer Arbeits- und Korrektionsmethoden, sowie neuer Werkstatthilfsmittel, soweit sie zum Austausch von Erfahrungen geeignet sind und unbeschadet der speziellen Geschäftsinteressen publiziert werden können.

V. Auszüge von fachlich interessanten Abhandlungen aus Zeitschriften des In- und Auslandes, mit Angabe der Quellen.

VI. Referate über die Verhandlungen des Fach-Vereins Berliner Mechaniker und Optiker.

VII. Möglichst vollständige Aufführung der neu erschienenen Fachliteratur mit kritischem Hinweis auf die Wichtigkeit für die speziellen Fachzweige.

VIII. Rubrik für Anfragen und Antworten.

IX. Ein Beiblatt kann noch enthalten: Geschäftsanzeigen aller Art, soweit sie mit unserem Fach in Zusammenhang stehen; ferner: Arbeitsnachweise, Stellgesuche usw.

X. Schließlich würden Preisverzeichnisse über wissenschaftliche Instrumente und Apparate als Beilagen ausgegeben werden können und sicher wirksame Verbreitung finden.

In diesem Sinne von einer geeigneten Kraft redigiert, würde die Zeitschrift einem dringenden Bedürfnis abhelfen und einer großen Verbreitung sowohl in Fach- als Gelehrtenkreisen sicher sein.

Die Möglichkeit der Gründung eines solchen Fachblattes, sowie dessen Lebensfähigkeit unterliegt keinem Zweifel. Über die Ausstattung derselben, den Umfang der Redaktion, die Art des Erscheinens würde natürlich erst nach gründlichen Informationen in sachverständigen Kreisen das Nähere bestimmt werden können, und ist es nur wünschenswert, daß der Berl. Verein seine Zustimmung zum energischen Vorgehen in dieser Angelegenheit gebe.

Soweit der Bambergsche Entwurf.

Ungefähr um die gleiche Zeit, genauer am 26. März 1880, erschien auch die erste Nummer der von O. Schneider in Leipzig begründeten Central-Zeitung für Optik und Mechanik; man kann auch daraus auf einen in den Fachkreisen weit verbreiteten Wunsch nach einer belehrenden Zeitschrift schließen.

Wenn man, um auf Bamberg zurückzukommen, dessen Bestrebungen einen großen Wert beilegt, so darf aber auch nicht vergessen werden, daß Loewenherz in einem Gesuch vom September 1881 an den Minister von Goßler die folgende Darstellung aus der gleichen Zeit gibt und auf seine eigene Tätigkeit in der gleichen Richtung hinweist: „Bestrebungen dieser Art sind bereits seit mehreren Jahren auf- „getreten und haben insbesondere in hiesiger Stadt lebhafte Unterstützung gefunden. „Zu einem greifbaren Ergebnis führten sie unter anderem bei Gelegenheit der Berliner „Gewerbeausstellung im Jahre 1879. Durch ein Zusammenwirken zahlreicher Fach- „gelehrter und der hiesigen Mechaniker wurde ein ausführlicher Bericht über die „wissenschaftlichen Instrumente auf dieser Ausstellung zustande gebracht, von dem „der mit unterzeichnete Herausgeber, Regierungsrath Dr. Loewenherz . . . Im An- „schluß an diesen Bericht, der sich in Fachkreisen einer wohlwollenden Aufnahme zu „erfreuen hatte, sind die Bestrebungen sehr bald über die Grenze Berlins ausgedehnt „worden und haben, wie das dem 3. Hefte der Zeitschrift beigegebene Verzeichnis „ihrer Freunde und Gönner zeigt, in allen betheiligten Kreisen Deutschlands und selbst „im Auslande lebhafte Zustimmung gefunden“.

Man wird keinem dieser beiden Männer unrecht tun, wenn man eine lebhafte Beschäftigung mit solchen Aufgaben bei einem jeden von ihnen voraussetzt, so daß das Zusammenwirken ihre Teilnahme an dieser Aufgabe zu immer lebhafterer Wärme angefacht haben wird. Tatsächlich finden wir sie auch außerordentlich häufig gemeinsam bei den Verhandlungen beschäftigt, die schließlich zur Gründung der Zeitschrift führten.

Man kann vielleicht auch darauf hinweisen, daß Loewenherz schon einige Jahre vorher, namentlich beim Studium der Leih-Ausstellung von South-Kensington im Jahre 1876, mit ähnlichen Dingen amtlich betraut worden war und eine gute Kenntnis auch von solchen einschlägigen Gelehrten und Technikern Deutschlands hatte, die außerhalb Berlins wohnten. Besonders ist dabei auf Ernst Abbe zurückzuverweisen, mit dem er jedenfalls schon in London bekannt geworden sein wird.

Die Probe, die mit dem Bericht über die Berliner Gewerbeausstellung als mit einer einschlägigen Fachveröffentlichung[1] gemacht wurde, fiel befriedigend aus, und Loewenherz vermochte um das Ende von 1879 in Julius Springer einen Verleger zu finden, der sich vor den nicht unbeträchtlichen Kosten der Drucklegung eines solchen Werkes — es hat immerhin über 540 Seiten und 292 Abbildungen enthalten — nicht scheute. Es läßt sich denken, daß die gegenseitige Beziehung der beiden oben geschilderten und besonders lebhaft beteiligten jungen Leute gleichen Alters — sie waren ja beide 1847 geboren — durch eine solche ziemlich schwierige und gemeinsam geförderte Aufgabe noch enger wurde.

### Die Begründung unserer Zeitschrift durch die Herausgeber.

Nach der Darstellung Loewenherzens müssen wir annehmen, daß die Neigung, zu der Verwirklichung der gemeinsam mit Bamberg geförderten Pläne beizutragen, zunächst unter den Ausschußmitgliedern ziemlich lebhaft wurde. In der Tat hat man schon Ende Juli 1880 die Berliner Freunde dieses Gedankens zu einer Sitzung zusammengerufen und hat aus ihnen einen engeren Ausschuß gewählt, um ihn mit der Führung der Geschäfte zur Vorbereitung einer Zeitschrift und zur Wahl eines Verlages zu betrauen. Es waren das Landolt, Loewenherz und der Berliner Mechaniker R. Fuess, der an Alter und Ansehen im Verein über Bamberg hervorragte. Neben diesen öffentlich hervortretenden Förderern dieses Gedankens war gleich von vornherein auch noch der damalige Assistent am Geodätischen Institut, A. Westphal[2], mit Leib und Seele dabei; er war 3 Jahre jünger als Loewenherz, aber offenbar in dem Verkehr mit Behörden besonders gut geschult. Wir können schon hier hervorheben, daß ohne seine Mitwirkung die Entwicklung der Zeitschrift wesentlich andere und vielleicht nicht so glückliche Bahnen eingeschlagen hätte, als es tatsächlich der Fall gewesen ist. Durch persönliche Umfragen wandte man sich an den Kreis von Förderern, der in einer für Deutschland sehr kennzeichnenden Weise zunächst Gelehrte enthielt. Als solche werden in der Reihenfolge der Anfangsbuchstaben genannt: Abbe, Bruhns, Jordan, Kronecker, Kundt, Landolt, von Lang, Loewenherz, Neumayer, Quincke, Tietgen. Dazu kamen von Technikern aus Berlin: Bamberg, Fuess, Haensch; aus Potsdam: Hartnack; aus München: S. Merz; aus Hamburg: Repsold; aus Wien: Starke; aus Celle: Westphal. Es sei gleich bemerkt, daß später von Gelehrten noch Arzberger und Bauernfeind, von Technikern Rueprecht in Wien (dieser an Stelle von Starke) hinzukamen.

---

[1] Loewenherz, L., Bericht über die wissenschaftlichen Instrumente auf der Berliner Gewerbeausstellung im Jahre 1879, bearbeitet von A. Christiani, Dittmer, R. Doergens, W. Erfurth, G. Fritsch, O. Frölich, W. Giese, J. Hirschberg, J. Kaupert, H. Landolt, Th. Liebisch, L. Loewenherz, A. Pinner, A. Sprung, F. Steinhausen, H. W. Vogel, K. Ed. Zetsche und unter Mitwirkung von: von Morozowicz, von Schleinitz, Helmholtz, Neumayer, W. Foerster herausgegeben von — — Berlin 1880, Julius Springer. VIII (1 Bl.) 535 S. gr. 8⁰ mit 292 Abb.

Das eingeschaltete, unbezifferte Blatt „Mittheilung des Herausgebers“ ist von Anfang Oktober 1880 datiert. Da es im Inhaltsverzeichnis nicht enthalten ist, so wird es kurz vor der Ausgabe eingefügt worden sein.

[2] Alfred Westphal (* 1. VIII. 1850, † 2. IX. 1924) studierte Mathematik und Naturwissenschaften in Berlin und ging 1873 als Lehrer an das Polytechnikum zu Tokio. Nach seiner Rückkehr 1876 trat er in das Geodätische Institut ein, wurde dort 1894 Abteilungsvorsteher und zog sich am 1. VII. 1905 in den Ruhestand zurück. Er war 1893 in Chicago einer der Preisrichter und arbeitete an der Vorbereitung der Ausstellungen 1896 zu Berlin und 1900 zu Paris mit. Besonders im Kriegervereinswesen tätig.

Man kann vielleicht schon hier einige Bemerkungen über die Wahl der Techniker und namentlich auch über das Nichtauftreten gewisser Namen einfügen. Es sieht uns Nachfahren so aus, als wenn die persönlichen Beziehungen der Gelehrten zu den Technikern eine recht große Rolle gespielt hätten. Heute mindestens würde es uns merkwürdig erscheinen, daß in München nicht Steinheil mit oder an Stelle von Merz auf die Liste kam, der seinerseits als Inhaber des alten optischen Instituts die Aufforderung dem Zauber von Fraunhofers Namen verdankt haben wird. Man würde eben mit Recht darauf hinweisen, daß in Hugo Adolph Steinheil damals der alle damaligen Wettbewerber weit überragende Rechenmeister Deutschlands auf dem Gebiete der Aufnahmelinse vorhanden war. Nach dem Tode I. Porros und dem Austreten des greisen Th. Grubb kann man ihn auch ohne Bedenken zu jener Zeit als den erfolgreichsten Theoretiker des In- und Auslandes auf diesem Gebiete bezeichnen. Gerade in jenen Jahren besserte und feilte er an dem Antiplanet, der ja zu seinen ganz besonders gelungenen Anlagen von photographischen Objektiven zu zählen ist.

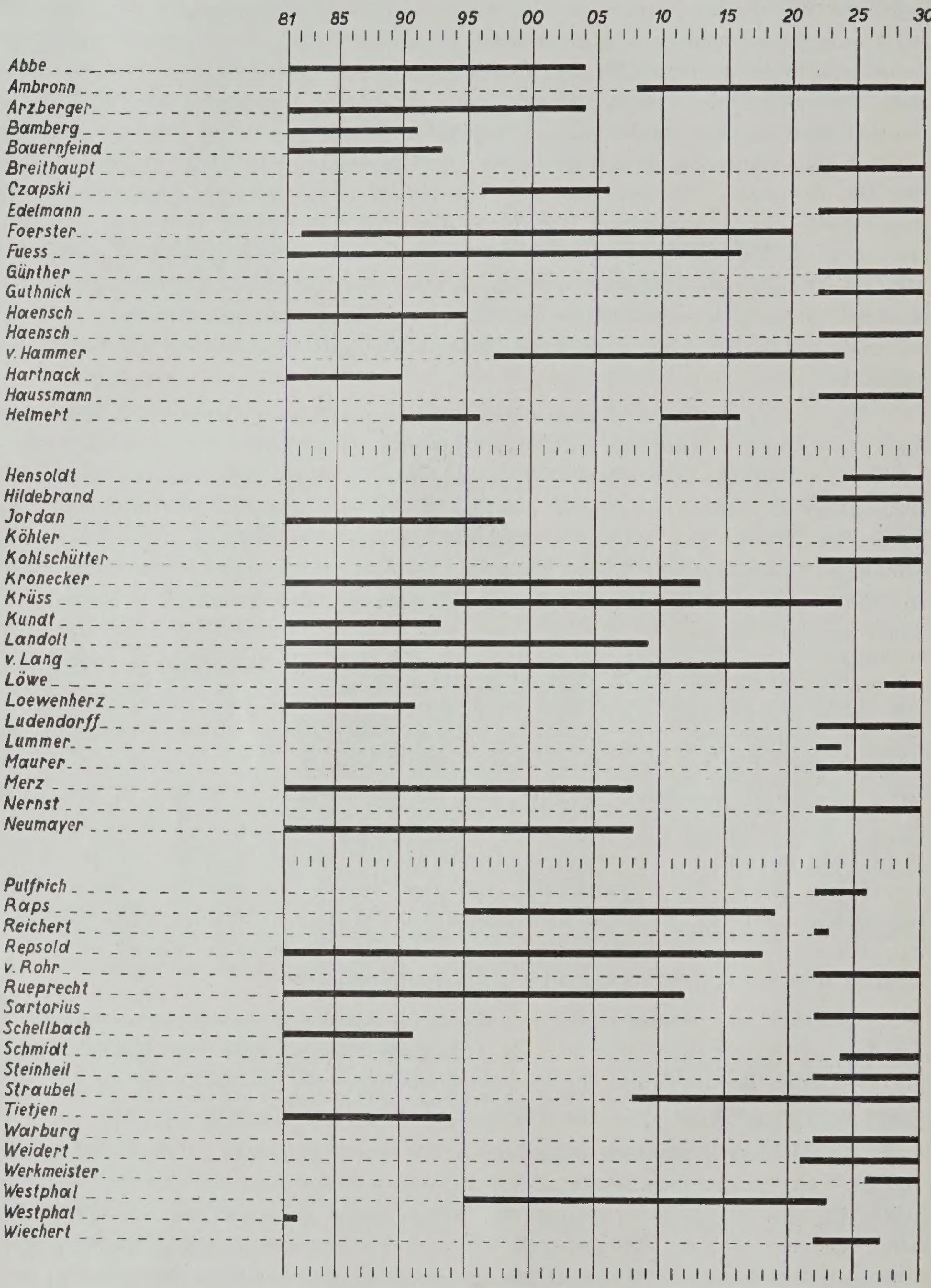
Auch Voigtländern in Braunschweig würde man heute heranziehen. Man muß doch daran denken, daß sich nach dem Tode des alten Wilhelm Friedrich Voigtländer im Frühjahr 1878 offenkundig neues Leben in der alten Werkstätte regte, und Außenstehende mußten annehmen, daß der fähige und erfahrene Stiefbruder des Inhabers, H. Zincke gen. Sommer, nunmehr bald bei der Planung neuer Linsenverbindungen beschäftigt sein würde. Daß sich die Lebenswege dieser beiden Verwandten so rasch und gründlich trennen würden, ließ sich im Jahre 1880 und in Berlin wohl kaum ermessen.

Namentlich aber würde man heute an einen in der Geschichte der Feinoptik und -mechanik unvergessenen Mann, an Hugo Schröder denken, der später auch in der Tat verschiedene, zum Teil sehr wichtige Mitteilungen für die Zeitschrift geschrieben hat. Da wir nun genau wissen, daß er sowohl mit W. Foerster als auch mit C. Bamberg persönlich bekannt war, die ihn beide wohl hätten in den Kreis der Förderer aufnehmen lassen können — R. Fuess war sogar bei ihm zu Hamburg in Stellung gewesen —, so mögen bestimmte Gründe nicht-technischer Art gegen ihn gesprochen haben. Die Schwierigkeit, mit ihm bequem zu verkehren, kann dafür herangezogen werden, vielleicht aber gingen um das Jahr 1880 auch schon Gerüchte um, daß sich eine neue Gründung in Oberursel nicht würde halten lassen; er ist tatsächlich dort schon 1882 geschäftlich zusammengebrochen.

Die Wahl des Verlegers fiel, wie nach der ganzen Vorgeschichte verständlich, auf Springer, und alles war so weit, daß Ende Oktober 1880 eine Einladung gedruckt werden konnte, worin die Ziele auseinandergesetzt, die Aufforderung zur Mitarbeit erhoben und die Bitte um Förderung ausgesprochen werden konnten.

Die 21 oben namentlich aufgeführten Förderer vermochten nicht, sich Bruhns und Quincke zuzuordnen, zogen aber Schellbach hinzu und traten dann als Herausgeber des neu begründeten Blattes auf. Ihnen stand zunächst das Eigentumsrecht daran zu, bis sie im Februar/April 1905 darauf zugunsten des Verwaltungsausschusses (Redaktionskuratorium ist die damals dafür angenommene Bezeichnung) verzichteten. Mit diesem Verzicht wird die Bezeichnung der Herausgeber zu einer Aufmerksamkeit für hochgestellte Beamte in einschlägigen Behörden, für Vertreter wichtiger Werkstätten und schließlich für ältere und verdient erscheinende Mitarbeiter an der Zeitschrift.

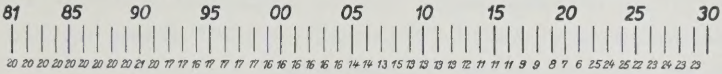
Die ins Einzelne gehende Darstellung A wird an dieser Stelle eingeführt werden können; sie erlaubt, auf einen Blick die Zugehörigkeitszeit — mit der einzigen Aus-




A. Die Herausgeber der Zeitschrift von der Begründung bis zur Gegenwart.

nahme von R. Helmert sind die Herausgeber nicht ausgeschieden, sondern durch den Tod abgerufen worden — zu entnehmen, und B gibt auch schnell eine Klarheit über

die Anzahl der gleichzeitig vorhandenen Herausgeber. Zunächst hat man nur verhältnismäßig selten zu Ergänzungen durch Berufung gegriffen, bis eben der Tod so merklich unter der Gemeinschaft aufräumte, daß ihre Zahl schließlich bis auf sechs




B. Die Anzahl der Herausgeber für jedes Jahr.

zusammenschwand. Eine große Neuberufung im Jahre 1922 hat dann die Zahl auf 25 erweitert und damit noch auf etwas mehr als die alte Höhe gebracht, was bei der allmählich merklich angewachsenen Bezieherzahl durchaus entsprechend erscheint.

### Der Verwaltungsausschuß und seine Bedeutung.

Von einer mehr unmittelbaren Bedeutung für die Ausgestaltung der Zeitschrift ist dagegen der erwähnte Verwaltungsausschuß und namentlich die 1895 wohl zur Entlastung des gealterten Landolt geschaffene Stelle des geschäftsführenden Mitgliedes gewesen, vorzüglich solange sie von dem noch als hervorragend eifrig zu schildernden Westphal bekleidet wurde. Er kannte auch als früherer Schriftleiter die Zeitschrift besonders gut, und er hat es offenbar mit der Erfüllung seiner Pflicht ungemein ernst genommen.

Einen besonderen Anlaß, sich als Träger dieser Lebensauffassung zu bewähren, bot ihm im Frühjahr 1907 die Vorbereitung für das Gleichensche Archiv für Optik. Da sich unter den Paten dieser früh eingegangenen Fachzeitschrift auch Mitglieder der Zeissischen Werkstätte befanden, so hat er in einem ernsten, auf Abbes Mitbegründerschaft zurückverweisenden Briefe die Belange der so lange von ihm geleiteten Zeitschrift sehr entschieden vertreten. Das geschah in einer so wohldurchdachten Form, daß die Antwort aus Jena die vollkommene Übereinstimmung in den Grundauffassungen hervorhob.

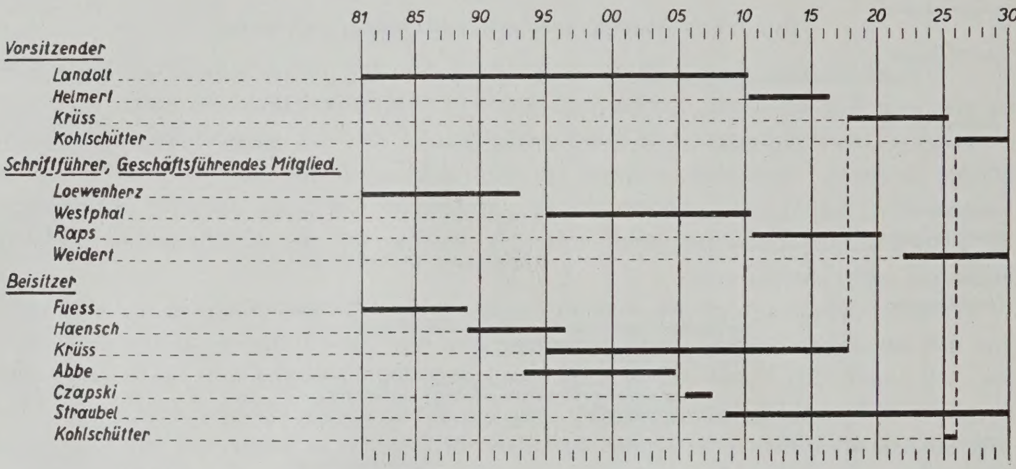
Man kann es verstehen, daß die kleine Gruppe zunächst von Berliner Persönlichkeiten, die den Verwaltungsausschuß bildete, vor der nur umständlich zu einem gemeinsamen Beschluß zu bringenden Menge der Herausgeber von jeher die entscheidende Rolle spielte; um so mehr war das der Fall, als jenem Ausschuß vom Frühjahr 1905 ab das Eigentumsrecht an der Zeitschrift übertragen worden war. Auch später, als der Beisitzer in Hamburg wohnte, änderte sich an der größeren Leichtigkeit gemeinsamer Beschlußfassung nicht viel. Ein gutes Beispiel von der Art einer Ausschußsitzung liefert der später noch für einen andern Zweck anzuführende Brief des Vorsitzenden Helmert vom 26. Oktober 1911 an Raps, das zufällig verhinderte geschäftsführende Mitglied. Man erkennt, daß zur Beschlußfassung über Göpels Wahl sowohl Hagen von der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt als auch verständlicherweise Springer hinzugezogen worden waren, da der Verleger in besonders häufige Berührung mit dem neuen Beamteten kommen mußte.

Hier mag eine Bemerkung zu dem Verhältnis zwischen der Leitung der Zeitschrift, dem Verwaltungsausschuß und dem Verleger, dem Hause von Julius Springer, Platz finden. Schon oben war darauf hingewiesen worden, daß dieser Verlag bereits 1880 mit der Herausgabe des Loewenherzischen Berichts über die Gewerbeausstellung nicht geringe Kosten an eine bloße Hoffnung gewagt hatte.

Die Verhandlungen, die in ruhiger Friedenszeit bei einer zur Aushilfe bereiten Reichsleitung zwischen Verwaltungsausschuß und Verleger geführt wurden, bedürfen

hier keiner Schilderung, da sie verständlicherweise den Boden geschäftlicher Abmachungen nicht zu verlassen brauchten. Das wurde aber in der Notzeit nach dem Kriege anders, als der Reichszuschuß nicht mehr gezahlt werden konnte; da hat das Springersche Haus freiwillig seinen Zuschuß verdoppelt und eine Erweiterung des Heftumfanges gestattet, so daß die Seitenzahl von 368 Seiten um 1923 auf 632 um 1928 — also auf etwa $^7/_4$ — des früheren stieg.

Dem Verfasser wird gestattet sein, auf eine ähnlich großzügige Haltung des größten deutschen Verlages einzugehen, der die Zeitschrift für ophthalmologische Optik ihr Weiterleben verdankt. Durch freien Entschluß des Verlegers wird einem für die Kenntnis der neuzeitlichen Brillenentwicklung unentbehrlichen Blatt das Leben gefristet, obwohl dabei von einem Gewinn nicht entfernt die Rede sein kann.




C. Die Zusammensetzung des Verwaltungsausschusses von der Begründung bis zur Gegenwart.

Die Darstellung C der Angehörigen des Verwaltungsausschusses wird einen raschen Überblick gewähren; man hat vielleicht dabei noch zu bemerken, daß seit 1894, wo — wie schon oben bemerkt, wohl zu H. Landolts Entlastung — der Posten des geschäftsführenden Mitgliedes geschaffen wurde, in der Aufführung am Kopf des Heftes das geschäftsführende Mitglied unmittelbar auf den Vorsitzenden folgte. Erst nach A. Rapsens Tode — er wurde am 20. IV. 1920 abgerufen — ist man dann zu einer rein alphabetischen Aufführung der Ausschußmitglieder übergegangen.

Was die Wahl des Vorsitzenden angeht, so hat ein glückliches Geschick, das H. Landolts Erdentage lange währen ließ, den Herausgebern erst spät die Aufgabe gestellt, eine solche Wahl zum zweiten Male vorzunehmen. Im Jahre 1910, wo die Reichsbehörden in der Bewilligung von Mitteln sehr entgegenkommend waren, mußte man eine Persönlichkeit ins Auge fassen, deren Stellung auch im höheren Beamtentum als wirklich ansehnlich galt. Man konnte dafür nicht an den Vorsteher der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt denken, da der folgende Grund dagegen sprach. Der Reichszuschuß, den die Zeitschrift schon seit 1889/90 regelmäßig empfing, war durch den Vorsteher jener Reichsanstalt zu befürworten, und er durfte durch den Vorsitz im Verwaltungsausschuß nicht in die Lage versetzt werden, gleichsam in eigener Sache sein Fürwort einzulegen. Dies war um so weniger statthaft, da seit dem Jahre 1910 der Reichszuschuß bewilligt wurde in der Form einer Stellenzulage für ein Mitglied, das dafür als Schriftleiter der Zeitschrift für Instrumentenkunde tätig war.

Man entschied sich, den Vorsitz im Verwaltungsausschuß dem berühmten Vor-

stande des Geodätischen Instituts, R. Helmert, anzubieten, der ihn auch nach einigem Zögern annahm.

Nach dessen Tode, den 15. Juni 1917, hat man in der an Abhaltungen reichen Kriegszeit das Amt des Vorsitzenden an den langjährigen Beisitzer A. Krüss übertragen, der es bis zu seinem Tode im Jahre 1925 versehen hat. Bei dem Ersatz für ihn griff man zu dem Nachfolger Helmerts am Geodätischen Institut, zu E. Kohlschütter.

Gleichzeitig mit Helmerts Übernahme des Vorsitzes legte, um auf die Zeit um 1910 zurückzukommen, A. Westphal das so lange versehene Amt des geschäftsführenden Mitgliedes nieder und wurde durch einen noch von ihm selbst vorgeschlagenen Nachfolger, A. Raps, ersetzt. Damit war nun der letzte der alten Begründer aus der Zahl der geschäftlich tätigen Herausgeber geschieden. Eine neue Zeit war nun nach 30 Jahren, einem Menschenalter, offensichtlich heraufgekommen.

Wendet man sich nunmehr noch einmal jener alten Zeit zu, wo die Zeitschrift für Instrumentenkunde vorbereitet wurde, so ersehen wir aus den Akten, daß ihre Leitung anfänglich auf dem Zusammenarbeiten zwischen Loewenherz und Westphal beruhte, wobei aber Westphal die Hauptschrifttätigkeit zu leisten hatte. Die beiden eigentlichen Leiter versuchten alles, um die Zeitschrift auf eine stets größere Höhe zu bringen und namentlich die Herausgeber, eben jene vorher aufgeführten Persönlichkeiten, zu regerer Teilnahme zu veranlassen. Man kann nicht sagen, daß sie damit viel Glück hatten, im Gegenteil haben wohl gleich von vornherein andere Freunde aus der Nähe und Ferne an der Zeitschrift wesentlich mitgearbeitet.

Man erkennt, daß im Herbst des Jahres 1881 den Leitern namentlich zwei regelmäßig erscheinende Blätter als Wettbewerber einigermaßen gefährlich erschienen, nämlich die Annalen der Physik und Carls Repertorium[1]. Bei den Annalen wird allerdings bemerkt, daß der Herausgeber Wiedemann an einen solchen Wettbewerb nicht eigentlich dächte, und offenbar ist auch die andere Zeitschrift nicht für längere Zeit bedrohlich gewesen.

## Der Staatszuschuß und die Angliederung der Schriftleitung an die Reichsanstalt.

Selbstverständlich machte die Beschaffung der Mittel nicht geringe Schwierigkeiten, denn wie man sich denken kann, war die Anzahl der Bezieher noch nicht groß genug, um das Blatt zu erhalten, und die Aufgabe der inneren Leitung wurde hauptsächlich durch den Mangel an Mitteln bestimmt. Man wandte sich zunächst an den für so viele Gebiete der Technik wohlgesinnten Minister Goßler, und zwar mit dem erfreulichsten Erfolge. Am 7. April 1884 wurde dem Ausschuß die Mitteilung, daß ein Betrag von 5000 M. bewilligt worden wäre. Selbstverständlich machte man sich, und mit vollem Recht, die Hoffnung, daß es mit dieser staatlichen Unterstützung nicht sein Bewenden haben würde, und in der Tat wurde auch im nächsten Jahre nochmals von Preußen der Betrag von 3000 M. für die Zeitschrift flüssig gemacht. Allerdings bemerkte der Minister, daß weitere Gesuche nunmehr an das Reich zu richten seien, jedenfalls in Verbindung mit dem damals von langer Hand vorbereiteten Plan, durch die Begründung der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt dem mechanischen Gewerbe gründlicher zu helfen. Hier stellt sich eben ganz deutlich der Zu-

[1] Diese physikalische Zeitschrift wurde von 1865 bis 1882 von Ph. F. H. Carl geleitet, ging dann mit der Bezeichnung des Repertoriums der Physik an F. Exner als Herausgeber über, der sie noch bis zum Jahre 1892 weiterführte.

sammenhang heraus, der schon oben erwähnt wurde, als bestehend zwischen der großen Gründung der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt und den kleinen Verhältnissen unseres Blattes. Ein an den Staatssekretär von Boetticher gerichtetes Gesuch wurde noch im Herbst 1885 zunächst ablehnend beantwortet, so daß man sich im nächsten Jahre doch wieder an Goßler wandte, und tatsächlich aus preußischen Mitteln am 29. Mai 1886 wiederum den Betrag von 3000 M. erhielt.

Man kann wohl darauf hinweisen, daß auch die für den Reichstag bestimmte, leider nicht datierte Denkschrift, betreffend die Begründung des Instituts für experimentelle Förderung der exakten Naturforschung und der Präzisionstechnik Hinweise auf die Zeitschrift enthält; auf das Jenaer Glaswerk wird jedenfalls indirekt Bezug genommen, so daß man wohl annehmen kann, daß es sich um das Jahr 1885 oder 1886 gehandelt hat. Im Mai 1887 wurde nunmehr das Gesuch um Beihilfe aus Reichsmitteln wiederholt, und man erhielt in der Tat gegen Ende dieses Jahres für das laufende Verwaltungsjahr einen Beitrag von 1000 M., mußte dagegen aber die Verpflichtung eingehen, die Veröffentlichungen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt unentgeltlich aufzunehmen und eine größere Anzahl von Sonderabdrücken dafür frei zu liefern.

Zwischenein versuchte Loewenherz, die Zeitschrift in die Verwaltung der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt zu nehmen und damit den Herausgeber zu einem Beamten dieser Behörde zu machen. Aber ihm war der Lebensfaden zu kurz zugemessen, als daß er diese Pläne hätte durchführen können. Er starb Ende Oktober 1892, und damit ging verständlich die Last der Herausgeberschaft allein auf Westphal über. Er hat diese Pflicht, namentlich mit Rücksicht auf den schon gealterten Vorsitzenden des Ausschusses H. Landolt, mit der größten Treue erfüllt und, wie man immer wieder hervorheben muß, die gelegentlich sehr umfangreiche Schreibarbeit mustergültig geleistet. Der Loewenherzische Plan wurde zunächst von der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, die damals noch unter Helmholtzens Leitung stand, nicht verwirklicht; vielmehr verwies man daselbst den Ausschuß auf Unterstützungen durch das Reich, und in der Tat hat man daraufhin im Februar 1893 ein großes Gesuch mit eingehenden Zahlennachweisen an den Staatssekretär von Boetticher gehen lassen. Der Erfolg war sehr erfreulich, man erhielt eine Unterstützung aus Reichsmitteln von 3000 M., die dann auch tatsächlich zunächst Jahr für Jahr gezahlt worden ist. Freilich haben auch die Freunde der Zeitschrift dazu das Ihrige getan, und namentlich im September 1893 auf dem in München abgehaltenen IV. Mechanikertage die Notwendigkeit einer Unterstützung der Zeitschrift auf das stärkste betonen lassen. Der Umstand, daß man zunächst die Reichsunterstützung etwas spät, nämlich am Ende des Zeitraumes erhielt, für den sie bestimmt war, brachte die Herausgeber gelegentlich in gewisse Schwierigkeiten, so daß man auch noch private Hilfe, mindestens für ein Darlehen, nachsuchen mußte. Der unvergeßliche Ernst Abbe hat auch hier seine Wertschätzung der Ausbildungsmöglichkeiten für Mechaniker dadurch betätigt, daß er in die Bresche trat und größere Summen für die Deckung dieser unvermeidlichen Ausgaben zunächst vorstreckte.

Wendet man sich mit einigen Worten zu den vom Preußischen Staate oder vom Reich tatsächlich für die Zeitschrift gezahlten Summen, so beläuft sich deren Betrag bis zum Kriegsanfang auf 11000 und 71000 M., also im ganzen auf 82000 M., d. h. um ein Drittel mehr als die gesamten für die Unterstützung des Jenaer Glaswerkes bewilligten Beträge. Man wird heute nur wenige Fachleute finden, die zurückhalten

mit ihrer Bewunderung einer Opferbereitschaft für eine Zeitschrift, deren Mitteilungen den Technikern des In- und des Auslandes[1] gleichmäßig zugute kamen.

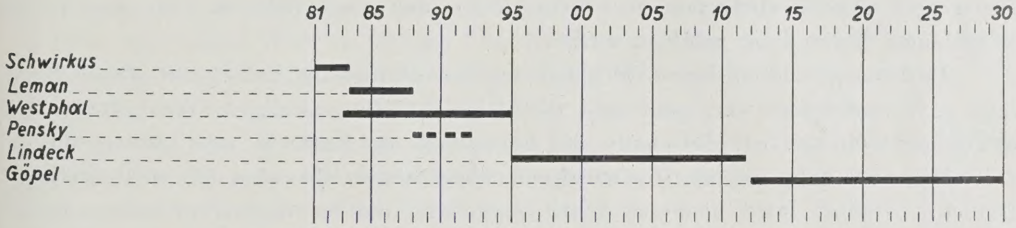
Die Wirksamkeit Preußens und des Deutschen Reiches auf unserem Sondergebiet hat zu jener denkwürdigen Zeit doch ein wesentlich anderes Gesicht gehabt, als es sich später — man sehe den 4. Band der Gesammelten Abhandlungen Ernst Abbes VII/VIII — in den sagenhaften Erzählungen des gegnerischen Auslandes darstellte.

Der Verwaltungsausschuß hat übrigens um 1907, wo die Geschäftslage der Zeitschrift günstiger war, selber die Herabsetzung des jährlichen Reichszuschusses von 3000 auf 2000 M. beantragt, und für die letzten acht Jahre des hier betrachteten Zeitraumes ist es bei der verringerten Summe geblieben.

Wendet man sich nun zu den noch übrigen Beamteten der Zeitschrift, zu den Schriftleitern, so wird die nebenstehende Tafel D einen leichten Überblick ermöglichen.

### Die Schriftleiter unserer Zeitschrift.

Als Redakteur zeichnet zunächst G. Schwirkus[2], doch hörte seine Tätigkeit — er teilte sich im Jahre 1883 mit A. Westphal in sein Amt — mit dem Juniheft jenes Jahres auf. An seine Stelle trat zunächst A. Leman[3], der sich gleichfalls mit Westphal in die Herausgeberschaft teilte. A. Leman, der nur wenig jünger war als Westphal, bearbeitete dabei das rein mechanische Gebiet.




D. Die Schriftleiter der Zeitschrift von der Begründung bis zur Gegenwart.

Es mag mit Lemans Anstellung in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt und seiner alsdann größeren Beanspruchung zusammenhängen, daß er 1888 aus seinem Amte als Mitherausgeber unseres Blattes schied. Nunmehr zeichnete A. Westphal allein als Herausgeber, wurde aber zunächst noch von B. Pensky[4] für den mecha-

---

[1] Einer freundlichen Mitteilung des Herrn Schriftleiters entnehme ich, daß im Juni 1914 46,8 vH der unmittelbar beim Verlag eingeschriebenen Bezieher Ausländer waren und im Juni 1929 sogar 52,6 vH.

[2] G. Schwirkus (* 29. VI. 1851, † 28. XII. 1910) studierte Mathematik und Mechanik und promovierte 1879 zu Jena. Trat am 1. VI. 1875 als Technischer Hilfsarbeiter bei der Normal-Eichungs-Kommission ein und rückte dort in höhere Stellen auf; er trat am 1. VII. 1900 in den Ruhestand. Seine Veröffentlichungen beschränken sich auf Abhandlungen in dieser Zeitschrift.

[3] Paul Arnold Leman (* 5. VII. 1851, † 18. XI. 1914) studierte zunächst auf der Berliner Gewerbeakademie, dabei vornehmlich seine Ausbildung als Mechaniker betreibend. Danach Besuch der Universität mit der Promotion 1880 abgeschlossen. Von 1880 bis 1888 am Berliner Astronomischen Recheninstitut beschäftigt, gab er auch Unterricht an der Berliner Handwerkerschule und trat am Schluß dieses Zeitraumes zur Physikalisch-Technischen Reichsanstalt über.

[4] Berthold Pensky (* 28. IX. 1850, noch am Leben) machte die Provinzial-Gewerbeschule in Königsberg durch, lernte als Feinmechaniker und besuchte die Berliner Gewerbeakademie. Seit dem 1. XI. 1876 außeretatsmäßig bei der Normal-Eichungs-Kommission tätig, wird er am 1. IV. 1880 etatsmäßiger Beamter und rückt am 1. IV. 1885 in eine besondere Stellung als „Mitglied für mechanisch-technische Angelegenheiten“ mit dem Titel Baurat ein. Das Ende seiner Tätigkeit bei der Schriftleitung ist, wie auch aus der Strichelung in der Tabellenzeichnung hervorgeht, nicht mit

nischen Teil unterstützt. Man kann ein besonders erfreuliches, äußeres Zeichen der Westphalschen Tätigkeit in der Tatsache sehen, daß im Jahre 1891 ein Gesamtverzeichnis für die ersten zehn Bände, die Zeit von 1881 bis 1890, herausgebracht wurde.

Doch auch für Westphal nahte die Zeit, wo ihm die Herausgabe der Zeitschrift zuviel wurde, und er trat mit dem Ende des Jahres 1894 von seinem Posten zurück. Es ist kein Zweifel, daß die Zeitschrift dadurch eine gewisse Einbuße erlitt. Immerhin aber blieb diese hervorragende Kraft, wie schon oben gesagt, aus Teilnahme an H. Landolt dem Ausschuß als geschäftsführendes Mitglied erhalten, und eine Durchsicht der Akten läßt erkennen, wie außerordentlich selbstlos er in der Erledigung von Gesuchen war, die er eigentlich allein zu entwerfen hatte. An seine Stelle als Schriftleiter trat der Beamte der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, St. Lindeck[1]. Er erschien als solcher zunächst am 1. Januar 1895.

Man kann wohl darauf hinweisen, daß bei der von Westphal gebilligten Wahl der neuen, ungemein tatkräftigen und der Zeitschrift ergebenen Persönlichkeit gleichsam stillschweigend in Loewenherzens Sinne verfahren wurde. Zwar nicht förmlich und von Amts wegen, aber doch tatsächlich war der neue Herausgeber mit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt verbunden, und wenn die Reichsbehörden ihren oben erwähnten, damals 2000 M. betragenden Beitrag am 6. Februar 1910 unmittelbar an St. Lindeck als Stellenzulage eines Mitglieds für Redaktion der Zeitschrift für Instrumentenkunde abführten, so erkennt man, daß auch höheren Orts eine solche tatsächliche Verbindung gebilligt wurde.

Daß das geschäftsführende Mitglied des Verwaltungsausschusses mit dieser Regelung recht zufrieden war, geht aus der folgenden Bemerkung A. Westphals vom 8. Februar 1910 hervor: „Ich halte die Bemerkung im Etat für sehr günstig für die Zeitschrift; ich habe sie mit Loewenherz früher angestrebt, aber sie nicht erreichen können.“ Danach wird niemand heute bezweifeln, daß er damals in seinem Kreise am besten über Loewenherzens Pläne unterrichtet gewesen ist, hatte er doch an ihnen teilgenommen.

Vielleicht ist es am meisten hier am Platze, auf die Bedeutung einer so nahen Beziehung zu der technischen Behörde einzugehen, da wir uns später mit einer Kritik zu beschäftigen haben, die im letzten Jahrzehnt an der Zeitschrift geübt worden ist, und die letzten Endes auf diese gleichsam persönliche Angliederung des Herausgebers an die Reichsanstalt zurückgeht.

Loewenherz beabsichtigte zweifellos, durch eine solche Regelung der Nachfolgerschaft der Stellung des Herausgebers größere Dauer und größeres Gewicht zu erteilen. Möglich ist es ja, daß er in der Kraft seines Mannesalters auf ein langes Leben rechnete und sich den Einfluß zutraute, bei der Herausgabe regelnd und steuernd einzugreifen.

Man mag seiner Auffassung etwa die Ansichten Bambergs gegenüberstellen, wie sie sich in großen Zügen aus dem oben mitgeteilten Entwurf entnehmen lassen

---

der gleichen Sicherheit anzugeben, wie bei den übrigen Herausgebern, da er nicht auf den Titelköpfen der Monatshefte erscheint. Ich habe seinen Namen da abgesetzt, wo die Berichte für die Werkstatt nicht mehr von ihm, sondern von K. Friedrich unterzeichnet werden.

[1] Stephan August Lindeck (* 16. X. 1864, † 21. X. 1911) studiert seit 1882 zunächst auf der Technischen Hochschule in Darmstadt, geht dann zur Universität über, wo besonders A. Kundt auf ihn einwirkte. Trat am 1. XI. 1887 in die Physikalisch-Technische Reichsanstalt ein, war auch zeitweilig Vorstandsmitglied der Deutschen Gesellschaft für Mechanik und Optik.

könnten. Hier ist von irgendeiner Beschränkung der Auswahl für den Herausgeber keine Rede, und man mag es wohl glauben, daß es 1878 bei der allgemeinen schwunghaften Freudigkeit in dem von ihm beeinflußten Mechanikerverein unnötig schien, an gutem Willen zu zweifeln. Es scheint ihm selbstverständlich gewesen zu sein, daß sich für die aufopferungsvolle Tätigkeit regelmäßiger und gründlicher Berichterstattung etwa über die Patentschriften für Mechaniker stets willige und geeignete Kräfte finden würden. Wenn man die Geschichte des 1891 begründeten Vereinsblattes verfolgt, so ist man allerdings berechtigt, wenigstens für den Kreis der Mechaniker und der ihnen nahestehenden Gelehrten am Bestehen einer solchen kernfesten Bereitwilligkeit zu zweifeln.

Der Loewenherzische Plan hat zum mindesten zu einer größeren Dauerhaftigkeit geführt, und man mag willig zugeben, daß Loewenherzens Erfahrung in der Behandlung von Menschen die Bambergs übertraf.

Hebt man in dieser Weise die Anschauungen deutlich heraus, die damals auf unserem Gebiet bei der Leitung der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt herrschten, so wird es nicht wundernehmen, daß man beim Abscheiden St. Lindecks am 22. Oktober 1911 die frei gewordene Stelle wiederum einem Beamten dieser Behörde übertrug; es war der heute noch tätige Herausgeber F. Göpel, der dann auch wirklich die Zeitschrift in guten und in ungewöhnlich bösen Tagen herausgegeben und sie nach einem bedauerlichen Tiefstand wieder eine Höhe hat erreichen sehen, die sich mit der in der Vorkriegszeit eingenommenen wohl vergleichen kann.

Daß auch diese Wahl in völliger Übereinstimmung mit der Leitung der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt getroffen wurde, läßt sich aus einem Bericht des Vorsitzenden im Verwaltungsausschuß von Ende Oktober 1911 entnehmen.

Hier wird ganz in dem oben vermuteten Loewenherzischen Sinne als ein Vorzug des die Schriftleitung besorgenden Beamten die größere Unabhängigkeit hervorgehoben, die ihm seine Stellung den Praktikern gegenüber gebe.

### Die Wirksamkeit der Zeitschrift (namentlich auf optischem Gebiete).

Wendet man sich schließlich zu der Art und Weise, wie die Zeitschrift ihrer ursprünglichen Sendung nachkam, eine Verbindung mit den Feinmechanikern und den Männern der Wissenschaft zu vermitteln, so muß man ganz zweifellos scheiden zwischen der Zeit vor der Gründung der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt und der Zeit nachher, also in runden Zahlen zwischen den ersten zehn und den letzten vierzig Jahren.

Als man im Jahre 1880 die Zeitschrift vorbereitete und die Beiträge für die ersten Hefte zusammenbrachte, da befand man sich unter ganz ungewöhnlichen Umständen: der Übelstand der bisherigen Entwicklung der Feinmechanik war allgemein anerkannt, und wenn sich auch der Berliner Fachverein der Mechaniker lebhaft um eine Besserung bemühte, so erwartete man doch von der neuen Zeitschrift um so größere Hilfe, als jede Erfahrung im einzelnen fehlte. Die gemeinsame Arbeit stand gleichsam unter dem höchsten Druck, man konnte auf willige Mitarbeit rechnen und eine andere Zeitschrift, die ernsthaft neben der neugegründeten in Betracht gekommen wäre, war, wie wir heute rückblickend sagen können, nicht vorhanden; denn die etwas ältere Central-Zeitung für Optik und Mechanik wandte sich im wesentlichen an einen weniger anspruchsvollen Leserkreis.

Das Ergebnis entsprach der allgemeinen Teilnahme: Gelehrte und Fachmänner arbeiteten gemeinsam, und es war doch recht bedeutsam, daß man nach den Worten

zur Einführung den wohlbekannten Mechaniker R. Fueß die erste Nummer eröffnen ließ. Es war ein Wetteifer der erfreulichsten Art: Physiologen und Augenforscher, Meteorologen und Astronomen, Waagenbauer und Geodäten, Ozeanographen und messende Physiker, Feinmechaniker und technische Optiker, Theoretiker nnd Praktiker beeilten sich, ihre Erfahrungen mitzuteilen oder neue Vorschläge zu machen. Gelcich, Gerland und Loewenherz bemühten sich um die Geschichte der mechanischen und optischen Kunst. Ein fröhliches Leben herrschte, und wirklich freute sich jeder seiner Stelle.

Dabei war die Zeitschrift aber so angelegt, daß auch der Mechaniker mit einer geringeren Vorbildung von dem Inhalt gern Kenntnis nehmen konnte. Auf die für die oben versuchte Zusammenstellung allein benutzten selbständigen Aufsätze folgten in jeder Nummer kleinere Mitteilungen, Besprechungen aus den Fachschriften (wobei gleich von Anfang an die Central-Zeitung gründlich berücksichtigt wurde), Vereinsnachrichten, eine Patentschau, ein Abschnitt für die Werkstatt und ein Fragekasten. Vergleicht man diese Wirklichkeit mit den oben wiedergegebenen Bambergschen Wünschen, so möchte man den Schluß wagen, daß dieser begeisterte und begeisternde Fachmann in jener schönen Zeit der jungen Liebe seinen Ansichten zur Förderung seiner Gewerbsgenossen reichliche Beachtung habe verschaffen können.

Dem heutigen Beurteiler mit einer gewissen Erfahrung über die Willigkeit gleichmäßiger, gewissenhafter Mitarbeit kommt allerdings ein großer Zweifel, wie man ein mit solcher Hingebung begonnenes Werk fortsetzen könne, wenn die Anfangsspannung erschlafft und mit der Zeit der Schwung vom Beginn erlahmt wäre. Natürlich änderten sich auch bei der Zeitschrift die Bedingungen schon im ersten Jahrzehnt. Die Eröffnung der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, die sich ja amtlich mit vielen in der Zeitschrift behandelten Fragen zu beschäftigen hatte, machte sich geltend, und den Mitarbeitern an dieser Behörde wurde ganz von selbst und willig eine größere Bedeutung zugestanden. So kommt es, daß die Beteiligung von erwerbstätigen Mechanikern an den selbständigen Aufsätzen im Sinken ist, während man die Beamten jener Reichsanstalt als Verfasser ziemlich häufig findet. Auch darf nicht vergessen werden, daß die Behörde regelmäßig ihren umfangreichen Tätigkeitsbericht zum Abdruck in der Zeitschrift einsandte, der dort gleichsam als Gegenleistung für den Reichszuschuß einzurücken war. Es sei schon hier gleichsam vorgreifend bemerkt, daß seit der Begründung der Reichsanstalt ungefähr ein Drittel der selbständigen Aufsätze auf Mitteilungen dieser Behörde zurückgehen.

Im Jahre 1891 gelang es der Deutschen Gesellschaft für Mechanik und Optik, ein Vereinsblatt zu begründen, in dem zunächst vorzugsweise wirtschaftliche Fragen behandelt wurden. Es wurde bei der Begründung von E. Brodhun, einem Beamten der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, geleitet. Es war eine natürliche Folge der Entwicklung, daß auch technische Fragen in immer steigendem Maße behandelt wurden. Leider gelang es den Deutschen Mechanikern nicht, das Vereinsblatt so zu unterstützen, daß es wirtschaftlich unabhängig dastand, und das führte im Jahre 1896 zu seiner Angliederung an die ältere Zeitschrift für Instrumentenkunde, als deren Beiblatt es von dann ab erschien. Der Herausgeber war A. Blaschke in den ganzen 24 Jahren, die dieser Zeitschrift noch vergönnt waren.

Die Zeitschrift für Instrumentenkunde brachte damit, wie man aus den Geschäftsübersichten erkennen kann, ein ständiges Geldopfer, zu dem sie sich nach den zu ihrer eigenen Gründung führenden Grundsätzen für verpflichtet erachtete. Die Verfügung über den neuen Raum wurde 1896 dazu benutzt, gewisse, von der ersten Zeit

her übernommene Abschnitte, die Patentschau, sowie die Abteilung „Für Laboratorium und Werkstatt“ an das Vereinsblatt abzuschieben. Man kann das wohl verstehen, da nach unsern oben ausgesprochenen Bemerkungen eine mustergültige Versorgung dieser Gruppen nur gelingen konnte, wenn man auf eine allgemeine, zu Zeitopfern bereite Beteiligung weiterer Kreise zu rechnen vermochte.

So nahm denn die Zeitschrift vom Jahre 1896 die äußere Form an, in der wir sie alle kennen: einem ersten Abschnitt mit selbständigen Aufsätzen folgten Besprechungen von Aufsätzen in- und ausländischer Fachblätter und von Büchern mit einschlägigem Inhalt. Daß eine gleichmäßige und möglichst unparteiische Berichterstattung tatsächlich erreicht werden konnte, wurde durch die nahe Beziehung des Herausgebers zu dem Stab der Beamten an der Reichsanstalt erleichtert, wenn nicht ermöglicht.

Vielleicht darf auch darauf hingewiesen werden, daß die verschiedenen Schriftleiter ganz in Loewenherzens Sinne für die Geschichte der feinoptischen und -mechanischen Kunst stets Raum gefunden haben. Noch in jüngster Zeit hat der augenblicklich wirkende Schriftleiter eine Übertragung der Guinandschen Schmelzanweisung von 1800/05 aufgenommen und damit das wichtigste Schriftstück der alten Schmelzkunst optischen Glases der glastechnischen Welt vermittelt. Die Zeitschrift hat sich eben nie allein auf die Behandlung technischer Gegenstände im engsten Sinne beschränkt.

Bei der Beurteilung des Wesens der Zeitschrift ist verständlicherweise zu beachten, daß der Schriftleiter unter allen Umständen auf seine Mitarbeiter angewiesen ist, und das hat gelegentlich auch in dem ersten Abschnitt der Zeitschrift für Instrumentenkunde zu merklichen Lücken geführt. Wie es verständlich ist, beschränkt sich der Berichterstatter auf die technische Optik, wo ihm eine ziemliche Erfahrung zu Gebote steht.

Er wird wenig Widerspruch zu besorgen haben, wenn er unter den Neuerungen der letzten 40 Jahre als von besonderer wirtschaftlicher Bedeutung hinstellt die Entwicklung der verzeichnungsfreien Aufnahmelinse mit scharfem, ebenem Felde seit 1890 und die Einführung des Prismenfeldstechers seit 1893.

Bei dem ersten der beiden Gegenstände ist eingehende Auskunft von den Erfindern in der photographischen Fachpresse, sei es in Zeitschriften, sei es in Jahrbüchern, gegeben worden, während der Lummersche Aufsatz vom Jahre 1897 weder diese wissenswerten Einzelheiten zur Hebung des Astigmatismus schiefer Bündel brachte, noch auch einigermaßen gleichzeitig erschien. Im Gegenteil, als Lummer die mit großen Zwischenfehlern behafteten Formen beschrieb, bei denen der Astigmatismus schiefer Bündel durch Kittflächen gehoben wurde, war das erste Patent bereits angemeldet, wo diese Aufgabe einem Nachbarflächenpaar zufiel. Der Fachmann weiß, von welcher Bedeutung diese Neuerung für die neuzeitlichen, ganz lichtstarken Aufnahmelinsen ist. Dazu erschien dann in der Zeitschrift ebensowenig ein Bericht wie auch nur eine kurze Bemerkung zu der erstaunlich einfachen Anlage eines Überweitwinkels aus zwei einfachen, tief durchgebogenen Linsen. Offenbar wurde die Zeitschrift für Instrumentenkunde nach ihrer Werbekraft von den verschiedenen, hier in Betracht kommenden Häusern nicht so hoch eingeschätzt wie die photographischen Fachblätter.

Später ist das anders geworden, und der Wanderslebsche Aufsatz vom Jahre 1907 hat durch ziffernmäßige Angaben über die Verzeichnung marktgängiger Aufnahmelinsen in hohem Maße aufklärend gewirkt. Das gilt namentlich auch für die Sage von der Verzeichnungsfreiheit symmetrischer Objektive als solcher, die durch die Ergebnisse der theoretischen Forschung nicht so gründlich erschüttert werden konnte, wie durch die zahlreichen Schaubilder dieses Aufsatzes.

Ganz ähnlich steht es mit den Prismenfernrohren. Als Abbe von 1893 ab mit Hilfe des Schottschen Prismenkrons das heutige Prismen-Doppelglas entwickelte und auf den Markt brachte, da hat Czapski seine beiden großen Einführungsvorträge in Berlin vor der Deutschen Gesellschaft für Mechanik und Optik und vor dem Berliner Verein zur Beförderung des Gewerbfleißes gehalten. Und beide für ihre Zeit ungemein wichtigen und anregenden Vorträge erschienen nicht in der Zeitschrift für Instrumentenkunde, obwohl man weder bei Abbe noch bei Czapski andere als die freundschaftlichsten Gesinnungen voraussetzen kann. Die Werbekraft der Einführungsreden vor den angesehenen Gesellschaften erschien eben größer, und man fand sich damit ab, daß der Wortlaut in den betreffenden Blättern und nicht in den vorliegenden Bänden zu finden war.

Auch hier sind dann später aufschlußreiche theoretische Arbeiten — es seien H. Harting und E. v. Hoëgh dafür in Erinnerung gebracht — gerade in dieser Zeitschrift veröffentlicht worden.

Man erkennt also, daß der große Vorzug einer unvoreingenommenen Leitung selbst in der ersten schwungkräftigen Zeit durch empfindliche Lücken erkauft werden mußte, wenn die Erfinder wichtiger Neuheiten aus Geschäftsrücksichten die Zeitschrift beiseitesetzen.

Natürlich fehlen auch die entgegengesetzten Beispiele nicht, und der Berichtende möchte aus seinem Gebiete namentlich hinweisen auf die lückenlose und fesselnde Darstellung, die Pulfrich seit 1901 von dem Stereokomparator und den aus ihm entwickelten Raummeßgeräten für photographische Halbbildpaare gegeben hat. Gerade wenn man mit dem Berichterstatter bedauert, daß das Stereoskop für photographische Halbbildpaare seit 1851 so gut wie ausschließlich in Darlegungen englischer Zunge wissenschaftlich behandelt wurde, so ist die Freude um so größer, daß hier die Entwicklung in der Heimat und in so weitem Maße mittels der Zeitschrift für Instrumentenkunde erfolgte. Der gewaltige Anstoß, den H. de Groussiliers mit seiner Wiederaufnahme des beidäugigen Entfernungsmessers gegeben und den Abbe 1893 durch seine Bearbeitung der Erfindung weitergeleitet hatte, wirkte auf Pulfrich mit ungeschwächter Stärke, und man kann nur eine aufrichtige Freude haben, wie er seine Arbeiten unserm Blatt anvertraute, und wie Schriftleiter und Verleger nie müde wurden, ihm den Raum dafür bereitzustellen.

Einige Zahlenangaben, die ich ebenfalls der freundlichen Mitteilung des Herrn Schriftleiters verdanke, mögen hier folgen, da sie die Vorstellung von der durch die Zeitschrift geleisteten Arbeit verdeutlichen: Die Gesamtzahl der veröffentlichten Abhandlungen betrug 983; unter den seit der Gründung der Reichsanstalt erschienenen 709 Aufsätzen waren 241 (rd. 34 $^0/_0$) Mitteilungen dieser Behörde. 135 Abhandlungen (rd. 13,7 $^0/_0$) entstammten dem Ausland.

Gewiß ist in der schlimmen Zeit unmittelbar nach dem Kriege gelegentlich auch eine tadelnde Stimme laut geworden, daß die Zeitschrift von der früher erreichten Höhe herabgesunken sei. Zieht man die Schwere der Zeit in Rechnung und hütet sich ganz allgemein mit unserm großen Dichter davor, ‚nicht allzu tadelsüchtig den Maßstab des Idealen anzulegen an die dürftige Geburt der Zeit', so wird man sagen können, daß sich Loewenherzens Plan im wesentlichen erhalten und bewährt hat: wenn auch nicht gleichzeitig alle die Vorteile gesichert werden konnten, die — zu besonders günstigen Zeiten — aus der willigen Arbeitsleistung freier und begeisterter Mitarbeiter zu fließen vermögen, so wurde doch Stetigkeit und Unparteilichkeit gewahrt, und es will dem Berichtenden scheinen, daß man sich an dem Erreichten wohl freuen könne und große Hoffnungen hegen für die Zukunft.

# Über die geschichtliche Entwicklung der elektrischen Einheiten.

Von
**H. v. Steinwehr** in Charlottenburg.
(Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.)

Bevor wir auf die geschichtliche Entwicklung, welche die elektrischen Einheiten von ihren Anfängen an bis zu dem heutigen Tage durchgemacht haben, näher eingehen, sind einige allgemeine Bemerkungen, insbesondere über die Definitionen zu machen.

Wir haben bei diesen Einheiten zwei Gruppen zu unterscheiden, die nebeneinander bestehen, und von denen je nach den Umständen bald die eine, bald die andere eine größere Bedeutung besitzt. Diese beiden Gruppen sind die sogenannten absoluten und die empirischen Einheiten.

Wenden wir uns zunächst den absoluten Einheiten zu, da sie die Grundlage für die jetzt benutzten empirischen Einheiten bilden. In betreff des Wortes „absolut", das leicht zu irrtümlichen Vorstellungen Anlaß geben kann, ist zu bemerken, daß es sich hier ebenso wie bei allen anderen Einheiten nicht um wirklich absolute Einheiten handelt, die es natürlich überhaupt nicht gibt. Diese Bezeichnung hat ihren Ursprung vielmehr lediglich in dem mechanischen absoluten Maßsystem, das als Grundeinheiten der Länge, Masse und Zeit das Zentimeter, das Gramm und die Sekunde benutzt. Diese Einheiten sind durchaus willkürlich, wie aus ihren Definitionen, auf die hier nicht näher eingegangen werden soll, ohne weiteres hervorgeht. Diejenigen elektrischen Einheiten, denen diese Fundamentaleinheiten zugrunde liegen, nennt man absolute elektrische Einheiten. Die großen Schwierigkeiten jedoch, mit denen die Zurückführung der elektrischen Maße auf die Einheiten der Länge, Masse und Zeit verbunden ist, haben dazu geführt, daß man statt ihrer lange Zeit hindurch empirisch definierten Einheiten, welche sich leichter darstellen ließen, den Vorzug gegeben hat.

Während aber bei den absoluten Einheiten keinerlei Festsetzungen getroffen werden können, da alle Einheiten in gleicher Weise durch das Maßsystem definiert sind, und es auch keinen Sinn hat, Vorschriften über die Realisierung derselben zu erlassen, da alle Wege, die zu ihrer Darstellung führen, gleichberechtigt sind, sofern nur die erreichte Genauigkeit die gleiche ist, liegen die Verhältnisse bei den empirischen Einheiten wesentlich anders. Da es sich bei ihnen um willkürliche Festsetzungen handelt, müssen diese so getroffen werden, daß das Ohmsche Gesetz erfüllt ist, d. h. von den drei Einheiten Ohm, Ampere und Volt dürfen nur zwei festgesetzte Werte erhalten, während der Wert der dritten Einheit sich aus den beiden anderen zwangsläufig ergibt.

Es ist von vornherein klar, daß die Beschreitung des Weges, an Stelle der absoluten Einheiten empirische zu wählen, die selbstverständlich zu den übrigen physikalischen Einheiten nicht in einer einfachen natürlichen Beziehung stehen, sich nur rechtfertigen läßt, wenn und solange die absoluten Einheiten sich nicht mit der erforderlichen und wünschenswerten Genauigkeit darstellen lassen. Dies war lange Zeit und ganz besonders zu Beginn der Bestrebungen, Einheiten zu schaffen, in hohem Maße der Fall. Fast jede dieser Aufgabe gewidmete Arbeit, ganz gleich, ob sie die Ermittlung des Wertes von Ohm oder Ampere zum Ziel hatte, ergab von den anderen abweichende Werte. Da es nun nicht tragbar erschien, daß die elektrischen Einheiten gewissermaßen Kurswert hatten, so wurden die damals leichter reproduzierbaren empirischen Einheiten geschaffen, deren Werte man so festsetzte, daß sie den seinerzeit wahrscheinlichsten Absolutwerten entsprachen.

So ist es verständlich, daß sich in neuerer Zeit infolge der Zunahme der Genauigkeit der Absolutmessungen, die bereits erfolgreich mit der Genauigkeit der Messungen an den empirischen Einheiten zu konkurrieren beginnen, Bestrebungen geltend machen, welche dahin gehen, den gegenwärtigen Zustand, der mit behelfsmäßigen empirischen Einheiten arbeitet, zu beseitigen, und statt dessen endgültig die absoluten elektrischen Einheiten zur allgemeinen Einführung zu bringen.

Nach diesen allgemeinen Bemerkungen, welche das Verständnis der folgenden Ausführungen erleichtern sollen, wenden wir uns zur Darstellung der Geschichte der elektrischen Einheiten.

Lange bevor an technische Anwendung der Elektrizität gedacht werden konnte, machte sich in den Kreisen der Physiker das Bedürfnis geltend, die elektrischen Erscheinungen messend verfolgen zu können, d. h. elektrische Maße zu besitzen.

Die ersten derartigen Bestrebungen wandten sich der Festlegung einer Widerstandseinheit zu. Zunächst glaubte man, eine reproduzierbare und unveränderliche Einheit dadurch erhalten zu können, daß man eine Spule aus einem Draht von bekannter Länge und bekanntem Querschnitt herstellte. Die ersten derartigen Normalen rühren von Jacobi[1] her. Seine ersten Versuche stellte er mit einem Kupferdraht von 1 m Länge und 1 $mm^2$ Querschnitt an. Dieser Widerstand war aber weder konstant, noch wegen des wechselnden Grades der Reinheit des Kupfers und infolge der verschiedenartigen Vorbehandlung des Materials genügend genau reproduzierbar.

Ein anderer Versuch, Widerstandsnormale für elektrische Messungen zu konstruieren, wurde in den Jahren 1862 bis 1875 von einem vom *Board of Trade* in London gebildeten Komitee gemacht[2]. Die von diesem Komitee hergestellten Widerstände aus Legierungen verschiedener Zusammensetzung, unter denen besonders Platinsilber eine große Rolle spielte, waren lange Zeit als sogenannte *British Association Unit (B. A. U.)* in Gebrauch, erfüllten jedoch die auf sie gesetzten Hoffnungen nicht, da ihr Wert mit der Zeit veränderlich war, und sie ebenso wie die vorher erwähnten Widerstände nicht reproduzierbar waren.

Erst viel später ist es gelungen, ein Widerstandsmaterial zu schaffen, das von den beiden Bedingungen, zeitliche Unveränderlichkeit und Reproduzierbarkeit wenigstens die erstere zu erfüllen vermag, als die Reichsanstalt einer Anregung von E. Weston folgend gemeinsam mit Dr. Heusler von der Isabellenhütte in Dillenburg systematische Untersuchungen über eine für Präzisionswiderstände geeignete Legierung anstellte. Durch die vereinten Bemühungen dieser beiden Stellen ist es gelungen, in dem Manganin ein Material zu finden, das die höchsten Ansprüche befriedigt und das infolgedessen auch heute noch in seiner Verwendung zur Konstruktion von Präzisions- und Normalwiderständen eine Monopolstellung in der Welt einnimmt[3].

Der erste, der die Vergeblichkeit der Bemühungen erkannte, konstante und reproduzierbare Widerstände aus Metalldrähten, die wegen der wechselnden Eigenschaften fester Materialien für diesen Zweck nicht geeignet waren, herzustellen, war W. Siemens[4], der die bis dahin benutzten Widerstandsmaterialien durch das einzige bei Zimmertemperatur flüssige Metall, nämlich Quecksilber, ersetzte. Da dieses Metall infolge seines homogenen Zustands stets genau den gleichen und zeitlich vollkommen unver-

[1] H. M. Jacobi, *Pogg. Ann.* ***54*** *S. 335, (1841).*

[2] *Reports of the Committee on Electrical Standards, Cambridge, University Press (1913).*

[3] *Wissenschaftl. Abhandl. der Phys.-Techn. Reichsanstalt* ***2.*** *S. 501. 1895,* ferner unter anderem *diese Zeitschr.* ***9.*** *S. 233. 1889 und* ***10.*** *S. 425. 1890.*

[4] W. Siemens, *Pogg. Ann.* ***110.*** *S. 1. 1860.*

änderlichen spezifischen Widerstand besitzt, so kommt es bei der Reproduktion von Quecksilberwiderständen nur auf die genaue Messung der geometrischen Dimensionen des Quecksilberfadens (Länge und Querschnitt) an. Diese von W. Siemens geschaffene Einheit stellte einen so bedeutenden Fortschritt dar, daß sie bald alle anderen bis dahin gebrauchten Widerstandseinheiten verdrängte. Die praktische Widerstandseinheit war hiermit auf eine sichere Grundlage gestellt, die sie auch heute noch mit einigen auf Erreichung einer größeren Genauigkeit abzielenden technischen Verbesserungen benutzt.

Weniger günstig hatte sich zunächst die Lage in betreff der Auswertung der absoluten Einheit des Widerstands entwickelt. Von den nach den verschiedenen Methoden zur absoluten Ohmbestimmung angestellten Untersuchungen lagen bis zum Jahre 1881 nur vier Arbeiten vor, deren Ergebnisse in der folgenden kleinen Tabelle zusammengestellt sind:

| Jahr | Beobachter | Wert des Ohm in m Hg |
|---|---|---|
| 1873 | Lorenz | 1,0710 |
| 1877 | H. F. Weber | 1,0590 |
| 1878 | Rowland | 1,0616 |
| 1881 | Rayleigh und Schuster | 1,0598 |

Die größte Differenz beträgt hier immer noch etwa 1%.

In betreff der zweiten Einheit (Stromstärke) lagen bis zu dem oben genannten Zeitpunkte (1881) noch keine Untersuchungen vor, die den damals zu stellenden Anforderungen entsprochen hätten.

Während bis dahin die Bemühungen, elektrische Einheiten zu schaffen, selbständig nebeneinander herliefen, begann jetzt ein neuer Abschnitt; es setzten nämlich die Bestrebungen ein, nicht nur gut fundierte Einheiten zu schaffen, sondern auch für ihre allgemeine Einführung zu sorgen. Zu diesem Zwecke wurden auf dem ersten Pariser Kongreß im Jahre 1881 an Stelle der absoluten Einheiten praktische Einheiten (Ohm, Ampere (Coulomb) und Volt) festgesetzt. Die an den bisherigen verschiedenen Widerstandsmaterialien gemachten Erfahrungen fanden ihren Niederschlag in dem Beschlusse der Konferenz, den Widerstand einer Quecksilbersäule von bekannten Dimensionen als Einheit zu wählen. Der Kongreß unterließ es jedoch, hierüber genauere Bestimmungen zu erlassen, ernannte vielmehr eine Kommission, welche für einen späteren Kongreß Vorschläge ausarbeiten sollte. Der im Jahre 1884[1] zu Paris tagende Kongreß setzte dann den Wert des Ohm entsprechend dem damaligen Stande der Wissenschaft zu 1,06 Siemens-Einheiten fest. Auch für das Ampere wurde eine Definition gegeben, und zwar sollte die empirische Einheit, um möglichst leicht und einwandfrei reproduzierbar sein zu können, durch die im Silbervoltameter durch 1 Coulomb in einer Sekunde ausgeschiedene Silbermenge definiert sein. Von einer zahlenmäßigen Festsetzung des Wertes sah man in Rücksicht darauf, daß die Genauigkeit der bis dahin vorliegenden Untersuchungen über das Silberäquivalent den zu stellenden Ansprüchen noch nicht genügte, vorläufig ab. Außer den beiden oben genannten Einheiten wurden noch das „Joule“, das „Watt“, sowie die jetzt „Henry“ genannte Einheit der Induktivität, der die Bezeichnung „Quadrant“ gegeben wurde, definiert.

Während bis zu den Pariser Kongressen keine den Anforderungen an die Genauigkeit genügenden Versuche vorlagen, wuchs die Zahl der exakten Untersuchungen über das absolute Ohm und Ampere in den darauf folgenden Jahren so sehr, daß man bald über ausreichendes Material zur Festlegung der absoluten Werte von Ohm

[1] *Congrès international des Electriciens, H. Masson, Paris.*

und Ampere verfügte. Da die Beurteilung des Werts der Untersuchungen über das absolute Ohm Schwierigkeiten bot, schien eine kritische Bearbeitung der Ergebnisse dieser Arbeiten erwünscht, um zu einem möglichst einwandfreien Wert zu gelangen. Das Kuratorium der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt übertrug daher diese für den Entwurf eines elektrischen Gesetzes erforderliche Vorarbeit dem auf diesem Gebiete besonders erfahrenen Professor Dorn. Die kritische Bearbeitung[1] der fünfzehn in Frage kommenden Untersuchungen ergab, daß der wahrscheinliche Wert des absoluten Ohm zwischen 1,062 74 und 1,062 92 m Quecksilber liegt. Unter Berücksichtigung der auch jetzt noch vorhandenen Unsicherheit empfahl Dorn, sich bei der Festsetzung des Werts mit einer Genauigkeit von einem Promille zu begnügen, und schlug deshalb den Wert 1,063, der auch im englischen Gesetzentwurf bereits empfohlen war, als deutschen gesetzlichen Wert des Ohm vor.

Einfacher war die Sachlage in Bezug auf die absolute Einheit der Stromstärke. Hier wählte die Reichsanstalt aus den vorhandenen Bestimmungen die beiden Werte von Lord Rayleigh und Mrs. Sidgewick[2] sowie von F. und W. Kohlrausch[3] als Grundlage für den Wert der gesetzlichen Einheit aus. In beiden Untersuchungen war die Menge des durch die Stromeinheit elektrolytisch niedergeschlagenen Silbers in absolutem Maße bestimmt worden, wobei die beiden ersteren Forscher mit der Stromwaage die Zahl 1,117 94, die beiden letzteren mit der Tangentenbussole die Zahl 1,118 26 gefunden hatten. Da man auch in diesem Falle die Genauigkeit auf ein Promille begrenzen wollte, so wählte man den Wert 1,118, der ebenfalls dem vom *Board of Trade* in England angenommenen Werte entsprach. Bildet man das Mittel aller überhaupt in jener Zeit in Betracht kommenden Zahlen, von denen fünf mit der Stromwaage und je eine mit der Tangentenbussole, der Sinusbussole und dem Dynamometer gewonnen waren, so erhält man ebenfalls den Wert 1,118, der, obwohl nur auf ein Promille angegeben, doch als auf ein Zehntausendtel sicher anzusehen ist.

Es schien der Zeitpunkt gekommen, an dem ein internationales Übereinkommen in betreff der gesetzlich festzulegenden Einheiten herbeigeführt werden konnte. Der zur Erreichung dieses Zieles veranstaltete Kongreß zu Chicago im Jahre 1893 beschloß außer den Einheiten der Stromstärke und des Widerstandes auch für die elektromotorische Kraft in Gestalt des Clarkelements ein Normal vorzuschlagen, dem ein bestimmter Wert beigelegt wurde, so daß statt der bis dahin angenommenen zwei Grundeinheiten nun deren drei festgsetzt wurden. Man hatte hierbei nicht bedacht, daß es nur zulässig ist, die Werte von zwei Einheiten festzusetzen, da hierdurch auch der Wert der dritten durch das Ohmsche Gesetz bestimmt ist, und also, falls man noch eine willkürliche Festsetzung über die dritte Einheit trifft, für diese tatsächlich zwei Werte, die durchaus nicht übereinzustimmen brauchen, auftreten können. In diese Schwierigkeit gerieten die Länder (die Vereinigten Staaten, England und Frankreich), welche die Chicagoer Beschlüsse ihren Gesetzen zugrunde gelegt hatten, als es sich herausstellte, daß der gesetzliche Wert des Clarkelementes um ein Tausendstel Volt zu groß angenommen war. Deutschland dagegen sowie Österreich und Belgien, welche ihre Gesetze in Anlehnung an das deutsche gegeben hatten, vermieden diesen Fehler, indem sie sich zwar in Bezug auf das Ohm und das Ampere an die Chicagoer

---

[1] E. Dorn, Über den wahrscheinlichen Wert des Ohm nach den bisherigen Messungen, Berlin, Julius Springer 1893 und *Wissenschaftl. Abhandl. der Phys.-Techn. Reichsanstalt.* **2.** *S. 257. 1895.*

[2] *Proc. Roy. Soc.* **37.** *S. 144. 1884.*

[3] *Sitz.-Ber. der phys.-med. Ges. zu Würzburg, Jan. 1884; Wied. Ann.* **27.** *S. 1. 1886.*

Beschlüsse hielten, die Festlegung der Spannungseinheit aber, wie es auch allein richtig ist, unterließen.

Durch das getrennte Vorgehen der verschiedenen Staaten wurde ein Hauptzweck der elektrischen Kongresse, nämlich der, eine internationale Übereinstimmung der elektrischen Gesetze herbeizuführen, verfehlt. Um die hierdurch geschaffenen unhaltbaren Zustände zu beseitigen, war es nötig, aufs neue den Weg internationaler Verhandlungen zu beschreiten.

Der internationale Elektrikerkongreß in St. Louis im Jahre 1904[1] brachte auf diesem Wege keinen wesentlichen Fortschritt, konnte vielmehr nur die augenblickliche mißliche Lage der elektrischen Gesetzgebung konstatieren und empfahl die Bildung einer dauernden internationalen Kommission.

Da es jedoch nicht ratsam schien, die wichtigen zur Entscheidung stehenden Fragen einem vielköpfigen Gremium, das höchstwahrscheinlich nur zum kleineren Teil als hinreichend sachverständig anzusehen war, ohne gründliche Vorbereitung vorzulegen, so wurde zunächst eine Vorkonferenz geplant, in der über alle fraglichen Punkte eine Einigung zwischen den maßgebenden Sachverständigen herbeigeführt und Vorschläge ausgearbeitet werden sollten, welche der allgemeinen Konferenz zu unterbreiten waren.

### Die internationale Konferenz über elektrische Maßeinheiten zu Charlottenburg vom 23. bis 25. 10. 1905[2].

Auf Anregung des Direktors des Bureau of Standards in Washington Dr. Stratton ergingen von Seiten der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt Einladungen an die mit der Bearbeitung und Überwachung der elektrischen Einheiten beauftragten Staatsinstitute, sowie an verschiedene Gelehrte, die auf dem Gebiet der elektrischen Einheiten infolge ihrer wissenschaftlichen Leistungen als besonders sachverständig anzusehen waren. Von den eingeladenen Instituten waren neben der Reichsanstalt das *National Physical Laboratory in Teddington,* die *K. K. Normaleichungskommission in Wien* und die *Kommission des Unités Electriques in Brüssel* auf der Konferenz vertreten. Außerdem nahmen als Sachverständige die Professoren F. Kohlrausch, E. Mascart und R. S. Carhart teil.

Unter allen zur Erörterung stehenden Fragen war eine der wichtigsten die mangelhafte Übereinstimmung der elektrischen Einheiten in den verschiedenen Ländern, die von verschiedenen Ursachen herrührt, deren wesentlichste eine Folge des bereits erwähnten Beschlusses des Kongresses von Chicago ist, die Werte von 3 Einheiten an Stelle von 2 Einheiten festzulegen.

Um die aus dem Chicagoer Beschluß erwachsene Schwierigkeit zu beseitigen, mußte sich die Charlottenburger Konferenz entschließen, an Stelle von 3 Einheiten nur 2 zur Festsetzung zu empfehlen. Darüber, daß die eine dieser beiden Einheiten das Ohm sein sollte, herrschte kein Zweifel. Die Wahl der zweiten Einheit, ob Ampere oder Volt, gab jedoch zu lebhaften Diskussionen Anlaß, da entgegen dem Vorschlage der Reichsanstalt das Ampere zu wählen, sich Stimmen für das Volt, das besonders von Herrn Carhart propagiert wurde, geltend machten. Die Konferenz entschied sich jedoch schließlich für die Wahl des Ampere als zweite Einheit. Wenn nun auch

[1] *Transact. of the Int. Electr. Congress St. Louis, 2 Bde. Publ. under the Care of the General Secretary and Treasurer 1905.*

[2] Verhandlungen der Internationalen Konferenz über elektrische Maßeinheiten usw. Berlin 1906, Reichsdruckerei. Auszug: *Electrotechn. Zeitschr.* **27.** *S. 237. 1906.*

kein Wert für die Einheit der Spannung festgesetzt wurde, so fiel doch eine Entscheidung über das Normal für dieselbe, indem einstimmig an Stelle des bis dahin fast allgemein verwendeten Clark-Elements das Westonsche Cadmium-Normal-Element (mit einem Amalgam von 12 bis 13% Cadmium) gesetzt wurde, und zwar wurde von den beiden gebräuchlichen Formen dieses Elements mit und ohne festes Cadmium-Sulfat-Hydrat das letztere gewählt, da es exakter definiert ist.

Was nun die Werte der beiden Einheiten Ohm und Ampere betrifft, so kam die Konferenz in bezug hierauf zu keiner endgültigen Entscheidung, man beschränkte sich vielmehr darauf, einige Maßnahmen für die Darstellung der Widerstandseinheit zu empfehlen, die sich der Hauptsache nach an die Ausführungsbestimmungen des deutschen Gesetzes anschließen.

In Ermangelung abschließender Untersuchungen über das Silber-Voltameter und das Normal-Element verzichtete man vorläufig auf den Erlaß von Ausführungsvorschriften hierfür.

Zum Schluß sprach die Konferenz den Wunsch aus, daß binnen Jahresfrist eine allgemeine offizielle Konferenz einberufen werden möge, welche die Aufgabe haben solle, die Unstimmigkeiten in der Gesetzgebung der verschiedenen Länder in bezug auf die elektrischen Einheiten zu beseitigen. Ferner solle diese Konferenz die Werte der Einheiten festlegen und die Ausführungsvorschriften für ihre Darstellung festsetzen.

Bemerkenswert ist, daß die Vorschläge der Reichsanstalt zur Tagesordnung dieser Konferenz bereits damals schon die in der letzten Zeit wieder aktuell gewordene Anregung zur Gründung eines Internationalen Bureaus für elektrische Maße gegeben haben, ohne daß jedoch die Konferenz hierzu Stellung genommen hat. Die Idee, dieses Bureau, das die Aufgabe haben sollte, die Quecksilbernormale für das Ohm nach den international vereinbarten Vorschriften für das Ohm herzustellen und Kopien davon an die verschiedenen an dem Bureau beteiligten Länder abzugeben, war vielleicht glücklicher als der jetzt gemachte Vorschlag, dem *Bureau international des Poids et Mesures,* das bisher ein ganz anderes Arbeitsgebiet hatte, entsprechende, wenn auch nicht so weitgehende Funktionen zu übertragen.

## Internationale Konferenz in London im Oktober 1908[1].

Die ursprüngliche Absicht, eine allgemeine Konferenz bereits im folgenden Jahre (1906) einzuberufen, ließ sich nicht verwirklichen, da die Experimentaluntersuchungen der drei großen Staatslaboratorien über die Einheiten, deren Ergebnisse den Beschlüssen der Konferenz als Unterlage dienen sollten, noch nicht abgeschlossen waren.

Wenn nun auch zwei Jahr später, nämlich im Jahre 1908 noch nicht alle Fragen als gelöst anzusehen waren, so erschienen doch die bis dahin vorliegenden Ergebnisse ausreichend zu sein, um hinreichendes Material für die immer dringender werdende internationale Übereinkunft über die elektrischen Einheiten liefern zu können.

Aus diesen Gesichtspunkten heraus berief die britische Regierung zum 12. Oktober 1908 eine internationale Konferenz nach London, an der 22 Länder und 4 englische Besitzungen durch 46 Delegierte vertreten waren. Den Verhandlungen wurde das von der Reichsanstalt entworfene Programm zugrunde gelegt. Die hierin gemachten Vorschläge wurden mit wenigen geringfügigen Abänderungen angenommen. Da nicht

---

[1] *International Conference on electrical units and standards 1908; printed for his Majestys Stationary Office by Darling u. Son, London 1909.* Auszug: *Electrotechn. Zeitschr.* **30.** *S. 344. 1909.*

alle Delegierte als Spezialsachverständige anzusehen waren, wurde ein technisches Unterkomitee von 22 Mitgliedern gebildet, das die Ausführungsbestimmungen für die Quecksilberwiderstände, das Silber-Voltameter und das Normal-Element zur Beschlußfassung durch die Konferenz vorbereiten und auch andere Fragen, deren Bearbeitung ihm von der Konferenz zur Bearbeitung übertragen wurde, beraten sollte.

Die Beschlüsse, welche diese Konferenz faßte, sind, da sie für die ganze folgende Zeit international bindende Gültigkeit besessen haben, so wichtig, daß sie hier ausführlich wiedergegeben werden sollen. Da, wie bereits gesagt, die Beschlüsse auf Grund der deutschen Vorschläge gefaßt wurden, die, soweit sie die gesetzlichen Festsetzungen betrafen, im allgemeinen den in der Praxis bewährten Bestimmungen des deutschen Gesetzes entsprachen, war es nicht notwendig, infolge der Londoner Beschlüsse Änderungen an letzteren vorzunehmen. Aber auch in den Ländern, deren gesetzliche Bestimmungen nicht in Einklang hiermit standen, waren die Beschlüsse in der Folgezeit in praxi maßgebend, auch wenn die Gesetzgebung sich ihnen noch nicht anpaßte.

Die in bezug auf die Definitionen der Einheiten gefaßten Beschlüsse der Konferenz haben folgenden Wortlaut:

„I. Die Konferenz ist der Ansicht, daß wie bisher die fundamentalen elektrischen Einheiten im elektromagnetischen Maßsystem definiert werden sollen unter Zugrundelegung des Zentimeter als Einheit der Länge, des Gramm als Einheit der Masse und der Sekunde als Einheit der Zeit.

Diese fundamentalen Einheiten sind: 1. das Ohm, die Einheit des elektrischen Widerstandes gleich $10^9$ cgs-Einheiten; 2. das Ampere, die Einheit der elektrischen Stromstärke, gleich $10^{-1}$ cgs-Einheit; 3. das Volt, die Einheit der elektromotorischen Kraft, gleich $10^8$ cgs-Einheiten; 4. das Watt, die Einheit der Leistung, gleich $10^7$ cgs-Einheiten.

II. Als ein System von Einheiten, das die eben genannten für elektrische Messungen und für legislative Zwecke mit genügender Annäherung verkörpert, empfiehlt die Konferenz die Annahme des internationalen Ohm, des internationalen Ampere und des internationalen Volt unter Zugrundelegung der folgenden Definitionen.

III. Das Ohm ist die eine Grundeinheit.

IV. Das internationale Ohm ist durch den Widerstand einer bestimmten Quecksilbersäule definiert.

V. Das internationale Ohm ist der Widerstand, den eine Quecksilbersäule von 106,300 cm Länge und 14,4521 g Masse bei durchweg gleichem Querschnitt gegenüber einem konstanten Strom bei der Temperatur des schmelzenden Eises besitzt.

Um den Widerstand einer Quecksilbersäule im internationalen Ohm zu ermitteln, ist das in der hier beigefügten Ausführungsbestimmung I beschriebene Verfahren zu benutzen.

VI. Das Ampere ist die andere Grundeinheit.

VII. Das internationale Ampere ist derjenige konstante elektrische Strom, der beim Durchgang durch eine wäßrige Lösung von Silbernitrat bei Einhaltung der hier beigefügten Ausführungsbestimmung II 0,00111800 g Silber in einer Sekunde niederschlägt.

VIII. Das internationale Volt ist diejenige konstante elektrische Spannungsdifferenz, die in einem Leiter von einem internationalen Ohm Widerstand einen Strom von einem internationalen Ampere erzeugt.

IX. Das internationale Watt ist die Leistung, die ein konstanter elektrischer Strom von einem internationalen Ampere bei einer elektrischen Spannungsdifferenz von einem internationalen Volt verrichtet."

Es ist bemerkenswert, daß auch diese Konferenz, wie alle ihre Vorgängerinnen der Ansicht war, daß die elektrischen Fundamentaleinheiten im sogenannten absoluten Maßsystem definiert werden sollen, daß es sich aber nicht empfiehlt, auch die praktischen Einheiten hierauf zu begründen, da die Genauigkeit, mit der sich zu jener Zeit die absoluten Einheiten darstellen ließen, erheblich geringer war als bei den empirischen Einheiten, und da sie zudem den hohen Ansprüchen, welche die Meßtechnik stellte, nicht genügte. Über die Wahl des Ohm als der einen der beiden empirischen

Grundeinheiten war man sich ohne weiteres einig. In betreff der zweiten Grundeinheit herrschten jedoch Meinungsverschiedenheiten, da verschiedene Stimmen (besonders aus Amerika) sich für die Wahl des Volt einsetzten, während die Majorität sich für das Ampere entschied.

Zu dieser Meinungsverschiedenheit in betreff der Wahl der zweiten Einheit — ob Ampere oder Volt — ist zu bemerken, daß, wenn das Prinzip aufrecht erhalten werden soll, die Grundeinheiten in möglichst nahen Anschluß an die Werte der absoluten Einheiten zu definieren, kein Zweifel darüber herrschen kann, welche der beiden Einheiten zu wählen ist, da zwar zahlreiche Bestimmungen des absoluten Ampere aber überhaupt keine Bestimmungen des absoluten Volt vorliegen. Für die Wahl des Volt dagegen spricht, daß in der Praxis das Bedürfnis nach einer reproduzierbaren Spannungseinheit erheblich größer ist als nach einer Stromeinheit. Dazu kommt, daß sich wohl Normalen der Spannung in Gestalt von Normalelementen herstellen lassen, nicht aber Normalen der Stromstärke, für deren Auswertung eine Meßmethode (z. B. mittels des Silbervoltameters) vorgeschrieben werden muß.

Um den gesteigerten Anforderungen an Genauigkeit Rechnung zu tragen, fügte man den beiden Zahlen für die Länge der Ohmrohre (106,3 cm) und für die in einer Sekunde von einem Ampere niedergeschlagene Silbermenge (1,118 mg) noch 2 Nullen hinzu. Dies bedeutet, daß die zu erreichende Genauigkeit ein Hunderttausendstel betragen soll.

Da durch diese Beschlüsse die Einheitlichkeit in der Realisierung der Normale noch nicht hinreichend gewährleistet ist, so wurden Ausführungsbestimmungen nicht nur für die beiden Grundeinheiten Ohm und Ampere, sondern auch für den Repräsentanten des Volt, das Westonsche Normalelement, erlassen. Diese Festsetzungen betreffen wichtige Einzelheiten der Meßanordnungen, so beim Ohm z. B. den Wert des Ausbreitungsfaktors (Übergangswiderstand zwischen Lumen des Rohres und den kugelförmigen Endgefäßen), die Größe dieser letzteren, die Dimensionen der Rohre und ihre Ausmessung usw., beim Ampere Vorschriften über die Konzentration der Silberlösung, die Stromdichten an Anode und Kathode u. a. Als Normalelement wurde das Westonsche Cadmium-Normalelement, und zwar der von der Reichsanstalt zuerst benutzte Typ mit festem Cadmium-Sulfat-Hydrat als Bodenkörper gewählt, für das ein vorläufiger Wert bei 20° C angenommen wurde, dessen genaue Ermittlung einer späteren Sachverständigen-Konferenz übertragen werden sollte.

Außer dem vorläufigen Wert für die EMK. bei 20° wurde eine Formel für die Temperaturabhängigkeit dieses Elementes angenommen. Obwohl nun bereits mehrere diese Beziehung ausgezeichnet darstellende Formeln, von denen die der Reichsanstalt die älteste war, bekannt waren, wurde doch als maßgebend eine bis dahin noch unveröffentlichte Formel des *Bureau of Standards* als Norm aufgestellt. Dieser Beschluß ist nicht recht zu verstehen, da die neue Formel gegenüber den älteren keinen Vorzug hinsichtlich der Genauigkeit, mit der sie die gemessenen Werte wiedergibt, besitzt.

Die in vorstehendem besprochenen Beschlüsse wurden noch nicht als ausreichend angesehen, um die gewünschte Einheitlichkeit der elektrischen Einheiten in der ganzen Welt zu gewährleisten. Die Konferenz faßte daher eine Resolution, welche sich eng an einen bereits im Jahre 1905 von der Reichsanstalt gemachten Vorschlag anschloß, indem sie die „Errichtung eines internationalen elektrischen Laboratoriums, das die Aufgabe haben sollte, die internationalen elektrischen Normalen aufzubewahren und zu erhalten" befürwortete.

Unabhängig von der Gründung eines solchen Instituts empfahl die Konferenz dringend, die Einsetzung einer permanenten internationalen Kommission für elektrische Maße, die aus bevollmächtigten Delegierten der interessierten Regierungen bestehen sollte. Da nicht zu erwarten war, daß die Verhandlungen, die zu dem Zwecke, eine solche Kommission ins Leben zu rufen, geführt werden mußten, in kurzer Zeit abgeschlossen sein würden, wurde für die Zwischenzeit von der Konferenz ein aus 15 Mitgliedern bestehendes Komitee von Sachverständigen gewählt, das unter dem Namen *Lord Rayleighs Komitee* bis zum Beginn des Krieges die auf dem Gebiete der Vereinheitlichung der elektrischen Normalen erforderlichen Unterhandlungen geführt hat.

**Konferenz in Washington vom 4. 4. bis 25. 5. 1910[1].**

Zum Zwecke der Ausführung der von der Londoner Konferenz vorgeschlagenen Arbeiten erging seitens des *Bureau of Standards* eine Einladung an das *National Physical Laboratory* und an die Reichsanstalt zur Beschickung einer Konferenz in Washington, die für den Oktober des Jahres 1909 geplant war und auf der von den Vertretern der drei Laboratorien gemeinsame Untersuchungen über das Normalelement und das Silbervoltameter ausgeführt und Vergleichungen der Widerstandsnormalen der drei Laboratorien vorgenommen werden sollten. Diese Zusammenarbeit, bei der besonders die Vorschriften für das Element und das Voltameter vervollständigt und einheitlich bearbeitet werden sollten, und zu der noch ein Delegierter des *Laboratoire Central d'Electricité* in Paris hinzugezogen wurde, fand im Frühjahr 1910 in Washington statt. Außer der Vergleichung der von jedem Delegierten mitgebrachten Elemente beschränkten sich die Arbeiten an diesen auf die Herstellung von Elementen unter Verwendung von Merkuro-Sulfat-Präparaten, die von den einzelnen Delegierten nach den in ihren Laboratorien ausgearbeiteten Methoden dargestellt waren. Jeder Delegierte setzte mit Hilfe aller dieser Präparate Elemente zusammen, die dann untereinander verglichen wurden. Im ganzen ergab sich sowohl zwischen den auf diese Weise hergestellten als auch den aus der Heimat mitgebrachten Elementengruppen der vier Laboratorien eine glänzende Übereinstimmung, da die Abweichungen der einzelnen Gruppen ein Hunderttausendstel vom Mittelwert nicht überschritten.

Die silbervoltametrischen Messungen wurden von jedem Delegierten mit den in seinem Laboratorium benutzten Voltametern ausgeführt. Die Abweichungen der einzelnen in den hintereinander geschalteten Voltametern niedergeschlagenen Silbermengen vom Mittelwert betrugen, wenn die als fehlerhaft erkannten Anordnungen ausgeschaltet werden, nur wenige Hunderttausendstel.

Da zu jener Zeit nur das *National Physical Laboratory* und die Reichsanstalt eine Quecksilberwiderstandseinheit besaßen, konnte nur eine Vergleichung dieser beiden Einheiten vorgenommen werden. Wegen der Umständlichkeit der Messungen an den Ohmrohren wurden jedoch nicht diese sondern an dieselben angeschlossenen Drahtwiderstände, deren hervorragende Konstanz eine hinreichende Sicherheit verbürgte, miteinander verglichen. Auf diese Weise wurde die Differenz der beiden Einheiten zu

$$\mathrm{Ohm}_{\mathrm{NPL}} - \mathrm{Ohm}_{\mathrm{PTR}} = 1 \cdot 10^{-5}$$

gefunden. Der Mittelwert beider Einheiten wurde den silbervoltametrischen Messungen zugrunde gelegt. Er galt längere Zeit als der internationale Wert des Ohm und wurde als

[1] *Report to the International Commitee on electrical units and standards of a special technical Commitee etc. Washington, 1. Jan. 1912. Government Printing Office.*

Washingtoner Einheit bezeichnet. Der mit Hilfe aller dieser Messungen ermittelte Wert des internationalen Weston-Elements beträgt 1,01830 Volt bei $20^0$ C. Das technische Komitee empfahl dem internationalen elektrischen Komitee die Annahme dieses Wertes an Stelle des auf der Londoner Konferenz vorläufig festgesetzten Wertes 1,01840.

Nachdem das Komitee einen diesem Vorschlag entsprechenden Beschluß gefaßt hatte, wurde der oben erwähnte Wert für das Normal-Element in den durch das Komitee vertretenen Ländern[1] eingeführt.

**Die internationale Konferenz des beratenden Komitees für elektrische Einheiten bei dem internationalen Komitee für Maß und Gewicht zu Paris im November 1928[2].**

Die internationale Zusammenarbeit wurde durch den Ausbruch des Weltkrieges jäh unterbrochen. Auch nach Beendigung desselben herrschte in der ganzen Welt Deutschland gegenüber eine so feindselige Stimmung, daß an eine Wiederaufnahme der internationalen Beziehungen nicht zu denken war, zumal durch das Versailler Friedensdiktat alle bisherigen internationalen Konventionen auf wissenschaftlichem Gebiete mit Deutschland aufgehoben wurden. Die einzige Ausnahme bildeten solche Organisationen, wie die Meterkonvention in Paris, bei denen auf die Mitarbeit Deutschlands nicht verzichtet werden konnte. Es zeigte sich jedoch bereits bald, daß die aus dem Hasse geborene Ausschaltung Deutschlands auf die Dauer nicht aufrecht zu erhalten war. Das Bedürfnis nach einer internationalen Zusammenarbeit auf dem Gebiete der elektrischen Einheiten machte sich in steigendem Maße geltend, so daß eine vom *Bureau International des Poids et Mesures* ausgehende Anregung, die eine Erweiterung seines Tätigkeitsbereichs durch Zentralisierung der Grundeinheiten bei dem Bureau in ähnlicher Weise, wie dies für die Einheiten der Maße und der Länge bereits seit langer Zeit der Fall ist, anstrebte, zum willkommenen Anlaß wurde, die Frage auf der internationalen Konferenz für Maß und Gewicht im Jahre 1928 wieder aufzurollen.

Auf dieser Konferenz wurde die von dem internationalen Komitee für Maß und Gewicht empfohlene Einsetzung eines aus Sachverständigen bestehenden beratenden Komitees beschlossen, das Vorschläge über folgende beiden Punkte machen sollte:

1. die prinzipiellen Grundlagen, auf denen das System der elektrischen Messungen ausgebaut werden soll.

2. ein allgemeiner Plan für die wirksamste Verwendung derjenigen Laboratorien der ganzen Welt, welche für diese Arbeitsgebiete eingerichtet sind, und zwar sowohl der nationalen Laboratorien, denen die Forschungsarbeit und Verwirklichung der Einheiten obliegt, als des *Bureau International des Poids et Mesures*. Auf dieser Konferenz waren die folgenden Staatsinstitute und Laboratorien vertreten: Die Physikalisch-Technische Reichsanstalt, das Bureau of Standards (U. S. A.), das Laboratoire Central d'Electricité (Frankreich), das National Physical Laboratory (England), das Laboratoir Electrotechnique (Japan), die Chambre Centrale des Poids et Mesures (Rußland). Außerdem waren Prof. Lombardi (Italien) und Herr Guillaume, Direktor des Bureau International in Sèvres, Mitglieder der Konferenz. Der allgemeine Teil der Verhandlungen wurde vom Präsidenten des internationalen Komitees, Senator Volterra, der sachliche Teil von Herrn Janet geleitet.

---

[1] In Deutschland durch eine Bekanntmachung der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt vom 1. 1. 1911. Veröffentlicht in *Ann. Phys. (IV)* ***34.*** *S. 376. 1911*; ferner in *dieser Zeitschr.* ***31.*** *S. 20 1912; Elektrotechn. Zeitschr.* ***31.*** *S. 1303. 1910; Zeitschr. f. physikal. Chemie* ***75.*** *S. 674. 1911.*

[2] *Comité Consultativ d'Electricité, Rapport, Procès-Verbana des Séances de 1928, Paris 1929.*

Der erste Punkt dieses Programms betrifft die Frage, ob die bisher gebrauchten empirischen Einheiten auch weiterhin beibehalten werden sollen, oder ob an ihre Stelle die sogenannten absoluten Einheiten treten sollen. Für einen Übergang zu den letzteren spricht der Umstand, daß die Genauigkeit der Messungen an den absoluten Einheiten im Laufe der Zeit so erhöht worden ist, daß sie jetzt ungefähr der bei der Verwirklichung der empirischen Einheiten erreichten Genauigkeit gleichkommt, so daß von diesem Gesichtspunkt aus kein Grund mehr vorliegt, weshalb die empirischen Einheiten den Vorzug verdienen sollten. Der einzige stichhaltige Einwand, der gegen einen Wechsel der Einheiten geltend gemacht werden kann und in einer Denkschrift von der Reichsanstalt[1] auch geltend gemacht wurde, ist darin begründet, daß bei dem Unterschied von etwa 5 Zehntausendsteln, der zwischen den Werten des internationalen und absoluten Ohm besteht, die für viele Zwecke nicht zu vernachlässigende Änderung in den Werten der Widerstände und aller anderen mit dem Ohm in Zusammenhang stehenden Einheiten, wie Volt und Watt, eine Unsicherheit hervorrufen wird, deren Folgen nicht ohne weiteres abzusehen sind.

Die Konferenz, welche die Berechtigung dieses Einwandes anerkannte, war jedoch der Ansicht, daß die Vorteile, welche mit dem geplanten Wechsel der Einheiten verbunden sind, die zu erwartenden Nachteile so sehr überwiegen, daß den letzteren keine ausschlaggebende Bedeutung beigemessen werden dürfe, und entschied sich dahin, die Einführung der absoluten Einheiten in Vorschlag zu bringen. In betreff des zweiten Punktes wurde beschlossen, daß dem *Bureau International* Funktionen übertragen werden sollen, die von der Konferenz in den folgenden Sätzen formuliert wurden:

Es wird die Schaffung folgender dreier Einrichtungen empfohlen.

1. ein Zentralsekretariat, das den systematischen Austausch der Normalen organisieren und die Ergebnisse der von den nationalen Laboratorien ausgeführten Vergleichungen zusammenstellen soll;
2. ein Laboratorium, dem die Normalen, welche die in den verschiedenen Ländern erhaltenen Ergebnisse repräsentieren, zum Zweck genauer Vergleichungen übergeben werden können;
3. ein Depot von Bezugs- und Arbeitsnormalen, und zwar auch von solchen der Induktivität und Kapazität mit den zur Ausführung von Vergleichungen fremder Normalen mit denen des Bureaus erforderlichen Einrichtungen.

Nachdem diese Vorschläge von dem im Juni 1929 tagenden internationalen Komitee für Maß und Gewicht angenommen worden sind, werden sie für die der Meterkonvention angeschlossenen Länder verbindlich sein.

Schließlich schlug die Konferenz noch vor, daß der Wechsel in den Einheiten nicht eher vollzogen werden soll, als bis die Beziehungen zwischen den alten internationalen und den absoluten Einheiten mit der notwendigen und erreichbaren Exaktheit ermittelt sind. Zu diesem Zwecke sollen von den für solche Arbeiten ausgerüsteten Laboratorien nach einem im Einvernehmen mit dem beratenden Komitee aufgestellten Plane Untersuchungen ausgeführt werden.

Während die Werte der internationalen Einheiten seit einer Reihe von Jahren als feststehend und unveränderlich anzusehen sind, waren die Ergebnisse der Messungen im absoluten Maßsystem nicht unerheblichen Schwankungen unterworfen, und erst in neuerer Zeit ist es gelungen, die Meßgenauigkeit so zu erhöhen, daß die Zuverlässigkeit der Messungen in beiden Systemen ungefähr die gleiche ist.

---

[1] *aaO. S. 49.*

Für das Ohm wird der Entwicklungsgang, den unsere Kenntnis des Absolutwerts desselben genommen hat, am besten durch die Änderungen veranschaulicht, welche die Länge der als empirische Einheit benutzten Quecksilbersäule durchgemacht hat. Als W. Siemens im Jahre 1860 den Widerstand eines Quecksilberfadens von 1 mm$^2$ bei 0$^0$ C als Widerstandseinheit einführte, gab er ihm in Ermangelung genügend genauer absoluter Messungen die Länge von genau einem Meter.

Diese Einheit, die sogenannte Siemens-Einheit, wurde als Grundlage für alle Widerstandsmessungen benutzt, bis der Pariser Kongreß im Jahre 1884 an Stelle dessen das legale Ohm einführte. Diese Einheit, welche ebenso wie die Siemens-Einheit definiert war, unterschied sich von ihr nur durch die Länge der Quecksilbersäule, die entsprechend dem damaligen Stande der Wissenschaft zu 1,06 m festgesetzt wurde. Diese dreiziffrige Zahl gibt einen Anhalt für den seinerzeit erreichten Grad der Meßgenauigkeit, der natürlich den weiterwachsenden Ansprüchen nicht genügen konnte. Nachdem durch eine Reihe von Forschern Arbeiten zur genaueren Bestimmung des absoluten Ohm ausgeführt worden waren, unternahm es Dorn[1] auf Veranlassung der Reichsanstalt das vorhandene experimentelle Material kritisch zu sichten, mit der Absicht, hieraus den wahrscheinlichsten Wert des Ohm herzuleiten. Der von ihm ermittelte Wert von 1,063 m Quecksilber war auf einige Zehntausendstel als sicher anzusehen und wurde, wie an anderer Stelle ausgeführt, als Wert der Widerstandseinheit angenommen. Hiermit war für längere Zeit das Bedürfnis nach genauen Absolutmessungen befriedigt, da man sich in betreff der absoluten Werte mit dieser Genauigkeit begnügte und alle weitere Arbeit auf die Verfeinerung der Messungen an den Ohmrohren verwendete. Hier ist als erste die Reichsanstalt vorbildlich vorgegangen, der es gelang, durch Ausarbeitung der Versuchsbedingungen und Verbesserung der Meßmethoden den Grad der Reproduzierbarkeit des Ohm in kurzem auf ein Hunderttausendstel zu bringen, also auf etwa den hundertfachen Betrag der Genauigkeit des im absoluten Maße festgesetzten Wertes. Dieses Bestreben ist nicht als eine überflüssige Genauigkeitsfexerei anzusehen, es war vielmehr ein Gebot der Notwendigkeit, um den dauernd steigenden Anforderungen von Wissenschaft und Technik genügen zu können[2]. Das Bedürfnis hierfür wurde durch den Beschluß der Londoner Konferenz anerkannt, welche, da aus den bis dahin vorliegenden Absolutmessungen ein genauerer Wert nicht abgeleitet werden konnte, der Zahl 1,063 m Quecksilber noch zwei Nullen hinzufügte, um damit den geforderten Grad der Genauigkeit der Quecksilbereinheit festzulegen. Die Zahl 1,06 300 hat somit keine Stütze in Messungen, die im absoluten Maß ausgeführt wurden, sie ist vielmehr als eine willkürliche Festsetzung anzusehen, die in Ermangelung genauerer experimenteller Daten getroffen wurde. Inzwischen hat jedoch die Experimentierkunst

[1] a. a. O.

[2] Von der im Laufe der Zeit eingetretenen Steigerung der Anforderungen an die Genauigkeit kann man sich eine Vorstellung machen, wenn man z. B. die Manipulationen zur Auswägung der Ohmrohre zur Zeit der ersten derartigen Messungen mit den jetzigen vergleicht. Während damals die Abgrenzung des in die Rohre eingefüllten Quecksilbers ohne weitere Vorsichtsmaßregeln durch Verschließen der Enden mit den Fingern vorgenommen wurde, werden jetzt die plangeschliffenen Enden des Rohres durch ebene Glasplatten abgeschlossen. Damit noch nicht genug, muß das Quecksilber im Vakuum eingefüllt werden, um den durch die an der Glasoberfläche anhaftende Luftschicht entstehenden Fehler zu vermeiden, und es muß beim Abschließen des gefüllten Rohres, das durch Abstreichen einer planen Platte geschieht, diese von der Mitte bis zum Rande mit einem feinen Ritz versehen sein, mittels dessen das letzte feine kleine Tröpfchen entfernt wird, das sonst in das Rohr mit einem gewissen Überdruck hineingepreßt würde und auf diese Weise zu einem wenn auch geringen Fehler Veranlassung geben würde.

so große Fortschritte gemacht, daß es lohnend erschien, von neuem der Bestimmung des absoluten Ohms Untersuchungen zu widmen. Allerdings sind es bisher erst zwei Arbeiten gewesen, die zu diesem Zweck unternommen wurden, von denen die eine im *National Physical Laboratory*, die andere in der Reichsanstalt ausgeführt wurde. Beide Arbeiten ergaben bei einer Differenz der Werte von nur 4 Hunderttausendstel für die Länge der Quecksilbersäule im Mittel den Betrag von 1,062 44 m, der sich von dem bisher gebrauchten Werte um etwa 5 Zehntausendstel unterscheidet. Da diese Zahl als gut gesichert anzusehen ist, so gibt sie zugleich den Unterschied zwischen dem gesetzlichen internationalen und dem absoluten Ohm. Um den gleichen Betrag sind daher bei einem Übergange von dem einen zum anderen System die Werte aller Widerstände zu ändern.

In Betreff der Auswertung der zweiten Einheit (Stromeinheit) in absolutem Maße, bei der die Bestimmung des elektrochemischen Äquivalents des Silbers mit Hilfe einer Stromwaage, einer Tangentenbussole oder eines anderen die Stromstärke in absolutem Maße liefernden Apparates ausgeführt wurde, liegen die Verhältnisse ähnlich wie beim Ohm. Auch hier streuten die auf verschiedenen Wegen gefundenen Werte für die absolute Einheit der Stromstärke bei den in früheren Jahren (von 1870 bis etwa 1900) ausgeführten Arbeiten sehr stark und erst die späteren Untersuchungen aus dem Zeitraum von 1904 bis 1913 lieferten Ergebnisse, die im ungünstigsten Fall nur wenige Zehntausendstel vom Mittelwert abwichen. Zufälligerweise entspricht dieser letztere Wert sehr nahe dem schon lange auf Grund der früheren Messungen angenommenen Wert 1,118 für das Silberäquivalent, so daß diese Zahl jetzt bei einem Übergang von den internationalen Einheiten, denen der Wert 1,118 00 zugrunde liegt, zu der absoluten Einheit wahrscheinlich keine Änderung zu erfahren braucht.

Der Wert der EMK des Normalelements, das die dritte abgeleitete Einheit darstellt, ist ebenfalls im Laufe der Zeit nicht unveränderlich geblieben, sondern einerseits von den Änderungen im Werte der primären Einheiten in Mitleidenschaft gezogen, andererseits aber auch in nicht unerheblichem Maße durch Änderungen in den Konstruktionsbedingungen beeinflußt worden. Sehen wir hier ganz von dem zuerst als Normal gebrauchten mit verschiedenen Mängeln behafteten Clarkelement ab, das bereits 1908 endgültig durch das viel zuverlässigere Westonelement aus seiner Stellung verdrängt wurde. Aber auch dieses letztere war anfangs nicht frei von Fehlern, die Unsicherheiten im Werte der EMK zur Folge hatten. Die Beseitigung dieser Unsicherheiten — es sei nur an das Verhalten des Merkuro-Sulfats, dessen elektromotorische Wirksamkeit von dem Herstellungsverfahren abhängt, sowie an den Einfluß, den die Konzentration des Amalgams besitzt, erinnert — verursachte zugleich Änderungen im Werte der Spannung.

Nach langwierigen Untersuchungen, die in den drei Staatslaboratorien angestellt worden sind, ist es gelungen, die Konstruktionsbedingungen zu finden, die eingehalten werden müssen, damit ein einwandfreies Verhalten des Elements auch für längere Zeiträume gewährleistet ist. Der Erfolg dieser Bemühungen zeigte sich deutlich auf der Konferenz in Washington, auf der, wie bereits erwähnt, eine glänzende Übereinstimmung der Spannungen der Elemente der verschiedenen Laboratorien festgestellt wurde. In Folge des Krieges und seiner auch heute noch nicht überwundenen Nachwehen hat sich eine derartige gleichzeitige Vergleichung dieser Normalen bis jetzt noch nicht wieder ermöglichen lassen, man hat sich vielmehr mit gelegentlichen Vergleichungen der Elemente je zweier Laboratorien begnügen müssen.

Über den augenblicklichen Stand der internationalen Übereinstimmung zwischen

den Grundeinheiten der verschiedenen Länder läßt sich folgendes sagen. Da direkt natürlich nur Ohm und Volt verglichen werden können, wenn man von den Normalen für Kapazität und Induktivität absieht, so kommen nur Vergleichungen von Widerstandsbüchsen und Normalelementen in Frage. Der Grad der zu erwartenden Genauigkeit ist bei dem zur Zeit geübten Verfahren wissenschaftlichen Beamten bei Gelegenheit von Reisen ins Ausland Widerstandsbüchsen und Normalelemente zum Zwecke der Vergleichung mit denen anderer Institute mitzugeben, nicht allzu groß und zwar ist er bei den Elementen wegen ihrer naturgemäß größeren Empfindlichkeit für Störungen kleiner als bei Widerständen. Aber auch bei den letzteren sind bei den Büchsen von 1 Ohm Unterschiede in den Werten vor und nach der Reise beobachtet worden, die über den Rahmen der üblichen Schwankungen hinausgehen und nur auf Konto des Transports gesetzt werden können. Unter Berücksichtigung dieser Einschränkung kann man zur Zeit folgendes über die internationale Widerstandseinheit sagen. Die Einheiten der drei Staatslaboratorien *Reichsanstalt* (P.T.R.) *Bureau of Standards* in Washington (B.o.S.) und *National Physical Laboratory* in Teddington (N.P.L.) stehen in einer Beziehung zueinander, die in der folgenden kleinen Tabelle zum Ausdruck kommt.

| Ohm | Abweichungen in Millionsteln vom Mittel der drei Einheiten |
|---|---|
| P.T.R. | + 2,3 |
| B.o.S. | + 12,3 |
| N.P.L. | — 14,6 |

Was die anderen Staatslaboratorien betrifft, so liegen hier an neueren Vergleichungen nur solche zwischen der deutschen Einheit einerseits und der russischen bzw. japanischen Einheit andererseits vor. Hiernach scheint die japanische Einheit um etwa $2 \cdot 10^{-5}$ kleiner zu sein als die deutsche, während der Unterschied zwischen der russischen und deutschen Einheit wahrscheinlich kleiner als ein Hunderttausendstel ist.

Die Beziehungen zwischen den Werten für die EMK des Normalelements in den verschiedenen Laboratorien zu ermitteln ist unter den augenblicklichen Verhältnissen wegen der größeren Empfindlichkeit derselben für Störungen ungleich schwieriger. Doch scheinen nach einer von dem *Bureau of Standards* für den Bericht der Konferenz des beratenden Komitees im November 1928 gemachten Zusammenstellung die verschiedenen Werte sich etwa in folgender Weise um einen Mittelwert zu gruppieren.

Wird der Mittelwert der Spannungsnormalen der sechs Länder, Deutschland, Frankreich, Großbritannien, Japan, Rußland und der Vereinigten Staaten von Nordamerika gebildet, so liegt die EMK des Westonschen Normalelements für Frankreich um etwa 5,3, für Japan um 2,2, für Großbritannien um 1,3 und für die Vereinigten Staaten um etwa $0,4 \times 10^{-5}$ oberhalb, die entsprechenden Werte für Deutschland und Rußland um 4,7 bzw. 4,9 Hunderttausendstel unterhalb dieses Mittelwerts. Da man jedoch eigentlich nur Werte des Volt von solchen Ländern zum Vergleiche heranziehen kann, die eigene Einheiten besitzen, so ist der französische Wert des Volt auszuscheiden. Tut man das, so ist die internationale Übereinstimmung der Spannungseinheiten eine wesentlich bessere. Es ergeben sich dann folgende Abweichungen vom Mittelwerte in Hunderttausendsteln:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Japan | + 3,3 | Deutschland | — 3,4 |
| Großbritannien | + 2,5 | Rußland | — 3,8 |
| Vereinige Staaten | + 1,5 | | |

Diese Werte sind keineswegs als absolut sicher anzusehen, da sie durch gelegentliche, im Laufe des Jahres 1927 ausgeführte Vergleichungen russischer und amerikanischer Elemente mit denen der anderen oben aufgeführten Länder gewonnen wurden.

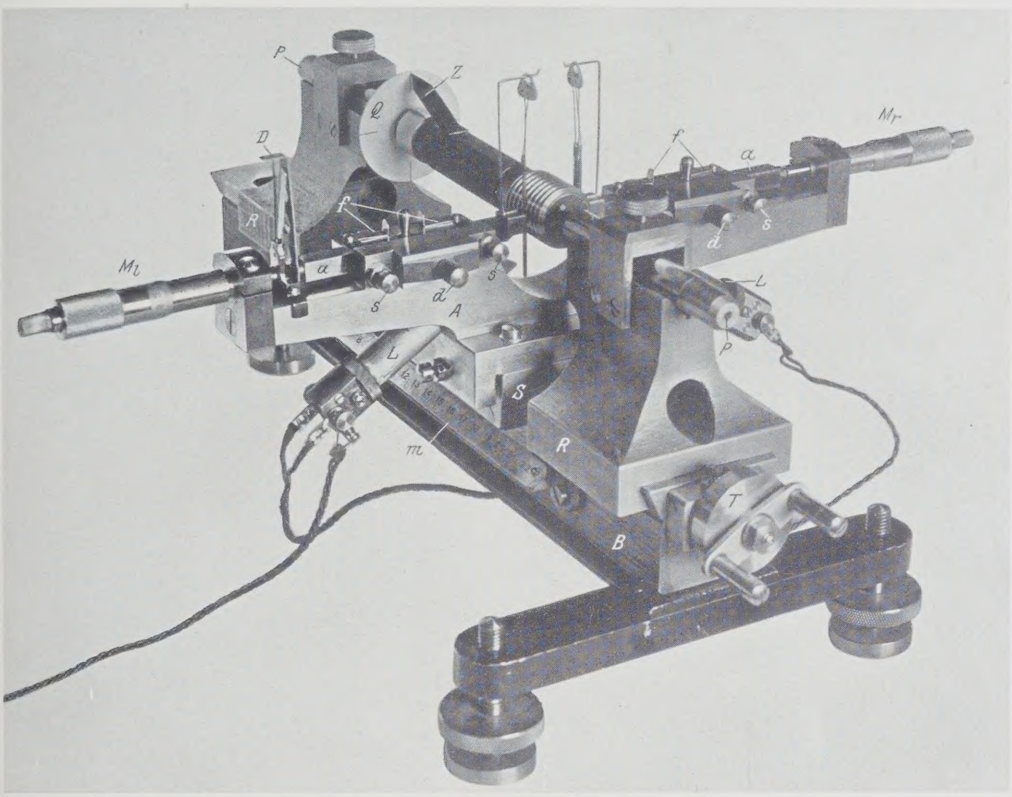



Abb. 1. Gesamtansicht des Gewindemeßgeräts.

# Verbessertes Gewindemeßgerät.

Von
**F. Göpel** in Charlottenburg.

(Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.)

An dem im Jahre 1921 gebauten und in der *Zeitschrift für Feinmechanik und Präzision* **32.** *S. 153—160. 1924*[1] beschriebenen Meßgerät für Gewindelehrdorne sind seither auf Grund der bei zahlreichen Prüfungen gewonnenen Erfahrungen wichtige konstruktive Verbesserungen angebracht worden, die eine wesentliche Steigerung der Meßgenauigkeit verbürgen. Eine Beschreibung der neuen Form dieses grundsätzlich sehr einfachen Instrumentes sowie ein Hinweis auf die Anordnung und Auswertung der damit möglichen Messungen, dürfte daher von allgemeinem Interesse sein.

## I. Beschreibung des Instruments.

Abb. 1 gibt zunächst eine Gesamtansicht des Apparates (in der Zurüstung für die Dreidrahtmethode), und zwar des kleineren Modelles für Gewinde bis etwa 40 mm Außendurchmesser. Ein größeres Instrument für 100 mm Durchlaß ist im Bau, unterscheidet sich jedoch in keiner Einzelheit von dem hier beschriebenen.

Auf dem horizontierbaren Prismenbett *B* sind die verschiebbaren und feststellbaren Reitstöcke *RR* mit den Pinnolen *PP* aus gehärtetem Stahl angeordnet, die auf

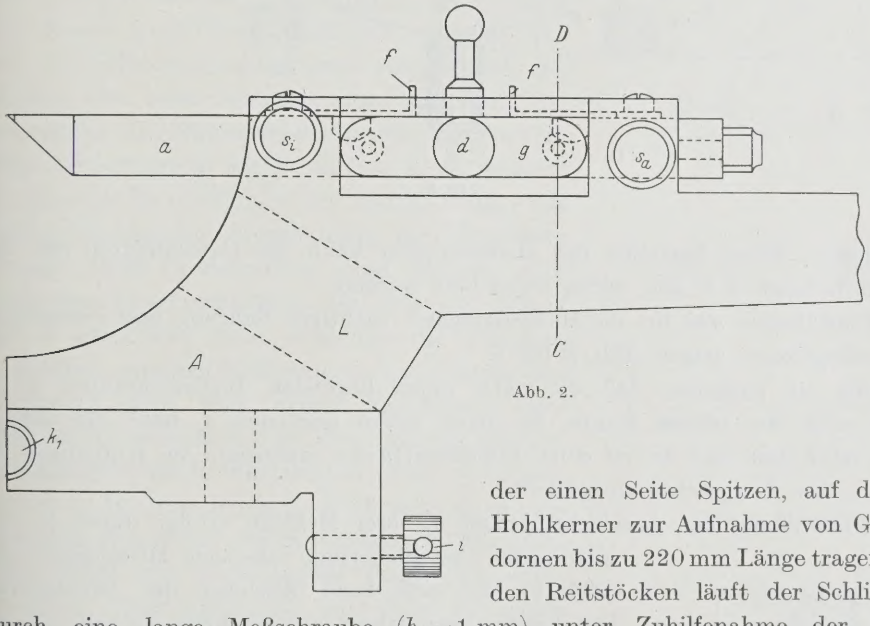



Abb. 2.

der einen Seite Spitzen, auf der anderen Hohlkerner zur Aufnahme von Gewindelehrdornen bis zu 220 mm Länge tragen. Zwischen den Reitstöcken läuft der Schlitten *S*, der durch eine lange Meßschraube ($h = 1$ mm) unter Zuhilfenahme der 100-teiligen Trommel *T* um etwa 170 mm verschoben werden kann. Der Maßstab *m* dient hierbei zur Ablesung der ganzen Umdrehungen. Der Schlitten *S* trägt den Quer-Meßaufsatz *A* mit den Anschiebeprismen *aa*, welche nach innen die nur 0,3 bis 0,4 mm langen Schneiden von 30° bzw. 27,5° Neigung, nach außen achsensenkrechte Anschlagebenen für die Meßberührung der beiden mit kugeligen Endflächen versehenen Einsteck-Mikrometer *Ml* und *Mr* tragen. Die Schneidenkörper *aa* vom Querschnitt $8 \times 8$ mm²

[1] Siehe auch G. Berndt, Die Gewinde. Julius Springer, Berlin 1925. *S. 315—321.*

sind aus gehärtetem Stahl, sorgfältig prismatisch geschliffen, und laufen trocken in geschabten, gut fluchtenden Nuten mit etwa 0,2 mm Seitenluft, die durch Anziehen der mit gehärteten kugeligen Enden versehenen Justierschrauben *s* soweit aufgehoben wird, daß sich die Prismen ohne toten Gang und doch leicht verschieben. Diese in engen Grenzen veränderliche Passung erlaubt, auf die kostspielige absolute Austauschbarkeit der Prismen, von denen für die verschiedenen Zwecke wenigstens 6 Paare notwendig sind, zu verzichten, also kleine Dickenabweichungen sicher und schnell auszugleichen. Leichte ausschwenkbare Blattfedern *f* sichern die Berührung der Prismen mit den Grundflächen der Nut, während die Druckschrauben *d* zur Feststellung der

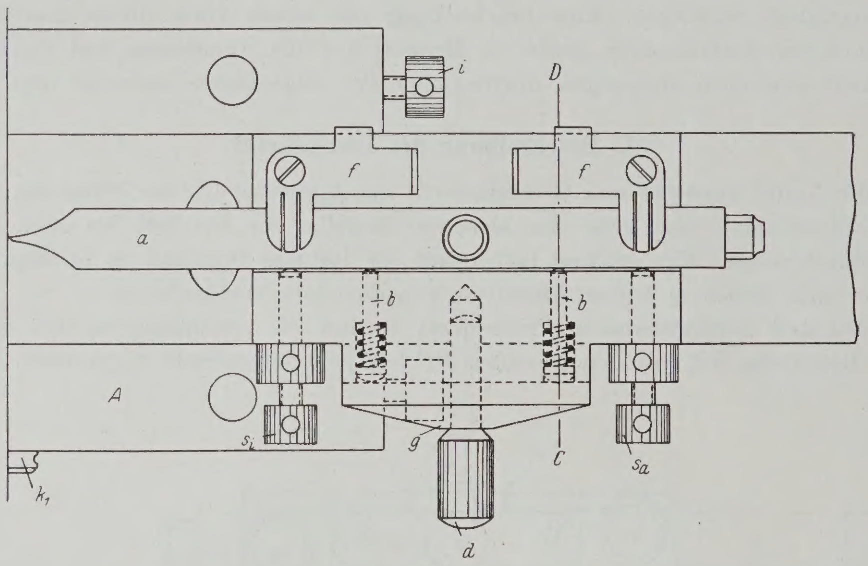



Abb. 3.

Prismen dienen. Beim Anstellen der Meßschneiden kann das Gewindeprofil mit verschiebbaren Lampen *L L* von unten beleuchtet werden.

Die Einzelheiten der für die Meßgenauigkeit wichtigen Führung und Feststellung der Anschiebeprismen zeigen Abb. 2 bis 4.

Wichtig ist zunächst, daß die nach innen liegenden Justierschrauben $s_i$ die Prismen *a* nahe der oberen Kante, die nach außen liegenden $s_a$ nahe der unteren Kante berühren und sich so zu einer Führungsfläche ergänzen, die Kippungen der Prismen um ihre Längsachse ausschließt.

Die Feststellung der Anschiebeprismen in ihrer Meßlage erfolgt durch je zwei kleine mit Abstoßfederung versehene Messingstempel *b* (Abb. 3), die sich beim Anziehen der Druckschrauben *d* unter Vermittlung der geführten Lamelle *g* gegen das Prisma pressen. Dadurch, daß die Achse der Stempel etwas nach unten geneigt ist (*C* bis *D* in Abb. 4), wird die Anlage der Prismen auf dem Grunde der Nut noch besonders gesichert.

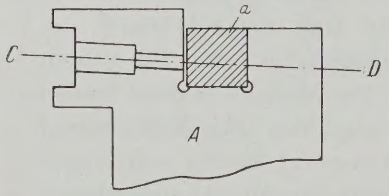



Abb. 4.

Eine Kontrolle der Schlittenschraube wie der Quer-Mikrometer *Ml* und *Mr* ist jederzeit durch normale Feinmeßblöcke möglich. Hierzu trägt der Schlitten *S*, wie Abb. 2 und 3 zeigen, einen gehärteten ebenen Anschlag $k_1$, dem ein zweiter auf der Innenseite des vorderen feststellbaren Reitstocks *R* entspricht. Die An-

ordnung dieses zweiten Anschlags geht aus Abb. 5 hervor: eine 8-mm-Stahlkugel $k_2$ mit angeschliffener Ebene wird durch ein Überfangstück $p$ mit etwas Reibung in einem geschliffenen Trichter gehalten, so daß sich beim Zwischenschalten eines Endmaßes zwischen $k_1$ und $k_2$ die Ebene an $k_2$ selbsttätig parallel zum Schlittenanschlag $k_1$ stellt. Die Berichtigung der Quer-Mikrometer *Ml* und *Mr* erfolgt durch Einschalten von Endmaßen zwischen die Meßflächen der Prismen *a* und der Mikrometer. — Wir werden später sehen, daß man sich durch diese bequeme Verwendungsmöglichkeit von Endmaßen von den Schraubenfehlern weitgehend unabhängig machen kann.

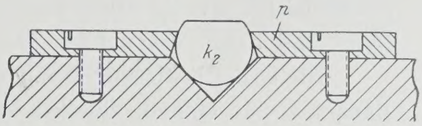



Abb. 5.

Es galt nun noch auf eine Kontrolle des Meßdruckes bedacht zu sein, dessen Konstanz bei der hier angewandten Meßmethode aus folgendem Grunde eine besonders wichtige Rolle spielt. Beim Anstellen der kleinen schrägen Prismenschneiden an die Gewindeflanken oder — zum Zwecke der Nullpunktbestimmung — gegeneinander läßt die unvermeidliche geringe Seitenluft in den Führungsnuten sowie die Keilwirkung der Meßschneiden ein geringes seitliches Ausweichen der Prismen zu, dessen Größe vom Meßdruck abhängig und auf die Mikrometerablesungen von Einfluß ist. Ändert sich beim Einlegen eines anderen Prismenpaares die Nutenpassung durch die notwendige Neujustierung der Schrauben *s*, so erhalten damit auch die Gleitfehler eine andere Größe. Die sehr vollkommene Ausschaltung der Gleitfehler gelang durch Verwendung eines kleinen, sehr einfachen Druckindikators, der, wie aus Abb. 1 bei *D* ersichtlich, beim Anstellen der Prismenschneiden zwischen Meßschraube und Prisma eingeschaltet wird und dessen Einrichtung aus Abb. 6a, b, c ersichtlich wird. Eine zwischen Spitzenschrauben drehbare Stahlzunge *z* (Abb. 6a und b), durch *f* (Abb. 6a) federnd, spielt mit einem angesetzten Zeiger auf der Strichplatte *P*. Der Indikator wird nun nacheinander links und rechts zwischen Prismenanschlag und Mikrometerende eingesetzt und durch Drehen der Mikrometerschraube samt dem Anschiebeprisma gegen das Meßobjekt vorgetrieben, bis der Index auf dem inneren, der Pinnolenachse zugekehrten Strich einspielt, d. h. bis die Meßschneide unter einem bestimmten, stets reproduzierbaren Druck das Objekt — also bei Gewindemessung an der Flanke, bei der Nullpunktbestimmung an der gegenüberliegenden festgelegten Prismenschneide — anliegt. Nach erreichtem Einspielen des Indikators wird das Prisma festgestellt, der Indikator nach Lüftung der Meßschraube herausgenommen und nun erst die Meß-

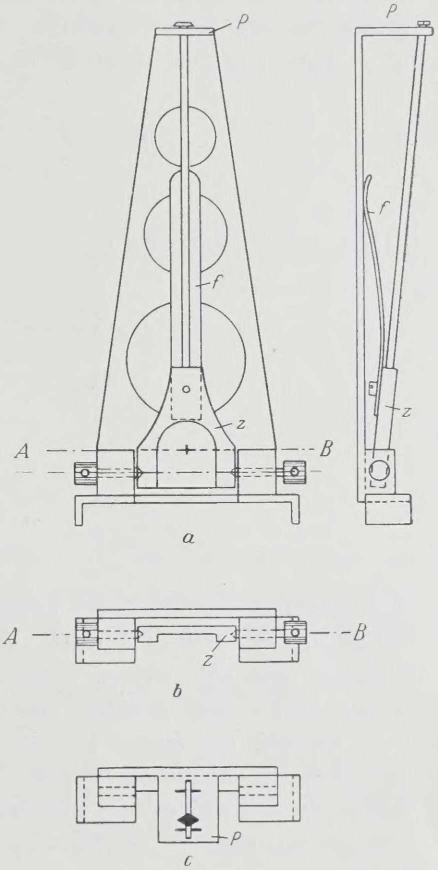



Abb. 6. Druckindikator.

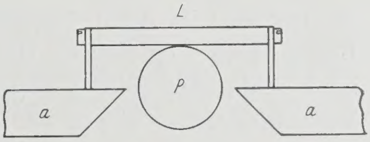



Abb. 7.

berührung zwischen Mikrometer und Prisma herbeigeführt. Die Hebelübersetzung des Druckindikators, dessen Angriffspunkt in Höhe der Linie $A$ — $B$ (Abb. 6a), etwa 2,5 mm von der Drehachse entfernt liegt, beträgt rd. 1 : 20, der auf das Prisma ausgeübte Druck in der Normalstellung des Zeigers rd. 60 g ± 3 g. Der Druckindikator gewährleistet also in erster Linie immer gleichen Meßdruck, außerdem aber auch stoßfreies und damit schonendes Anstellen der Schneiden.

Die Grundjustierung des Apparates erfolgt jetzt — gegenüber der ursprünglichen Bauart — nur einmal, nämlich bei der Herstellung, Wichtig ist, daß die die Schneiden tragenden Prismenoberflächen in Spitzenhöhe liegen und daß die Prismenführung senkrecht zur Pinnolenachse steht. Die erste Bedingung läßt sich durch Abstimmung der Sitzflächen des Prismenaufsatzes $A$ (Abb. 2) erfüllen und mit einer einfachen Lehre ($L$ in Abb. 7) prüfen, deren Pfeilhöhe durch Endmaße genau auf den halben Pinnolendurchmesser justiert ist. Man schiebt eine der Pinnolen so weit vor, daß sie zwischen die Prismen $aa$ hineinragt; läßt man jetzt die Lehre $L$ auf der Pinnole $P$ reiten, so muß erstere mit ihren Fußenden die oberen Flächen der Prismen $aa$ gleichmäßig berühren. Zur Prüfung der zweiten Bedingung dient ein in Abb. 8 skizzierter, zwischen den Spitzen $PP$ aufzunehmender stählerner Anschlagarm $A$, dessen gekröpftes kugeliges Ende in den Lagen $I$ und $II$ die festgestellten Prismen gleichmäßig streifen muß. Kleine Abweichungen werden durch sinngemäße Benutzung der Schrauben $i$ (Abb. 2 und 3) beseitigt, die durch eine dritte gegenüberliegende Schraube zum Anschlag an den Schlitten gebracht werden, während vier von oben wirkende Schrauben den Prismenaufsatz $A$ auf dem Schlitten sichern.

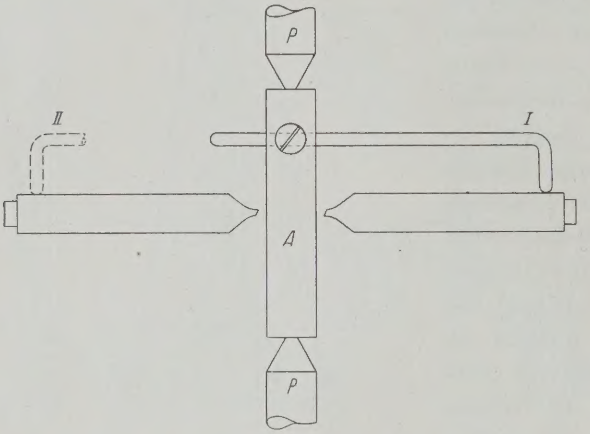


Abb. 8.

Obwohl die zarten Prismenschneiden, wie oben bemerkt, durch das Anstellen mit dem Druckindikator weitgehend geschont werden und, was besonders hervorzuheben ist, der Einfluß der normalen Abnutzung durch die Möglichkeit der Nullpunktbestimmung nicht in die Messung eingeht, können durch Unachtsamkeit gröbere Beschädigungen vorkommen und Nachschleifen der Schneiden nötig machen. Das kann nach kurzer Übung sehr rasch und winkelgenau mit einer Hilfseinrichtung erfolgen, die in Abb. 9 in ihren wesentlichen Teilen skizziert ist. Auf dem nach oben liegenden Boden eines trogförmigen Gußeisenkörpers $T$ ist eine Stahllamelle $L$ befestigt, deren zu $T$ senkrechte Kanten planparallel geschliffen sind. Mit zwei spektrometrisch prüfbaren Glasprismen $P$ von $30^0$ oder $27{,}5^0$ kann die Lamelle in den geforderten Winkel zu der senkrecht zur Bodenebene gearbeiteten Trogwand $AB$ justiert werden, indem ein Planglas $J$ an $AB$ angelegt und optische Berührung mit dem angeschobenen Prismenschenkel herbeigeführt wird. Die nachzuschleifenden Prismen werden dann durch Justierschrauben $ss$ mit sanfter Reibung gegen die Lamellenwand gedrückt und mit leichtem Druck gegen eine auf der Trogwand $AB$ bewegte mattierte Glasplatte geschoben, auf die eine Spur Pariser Rot aufgetragen ist. Dabei wird an die stark unterschliffene Prismenschneide nur ein ganz feiner „Faden“ winkelgenau angeschliffen.

In Abb. 9 ist die sonst vorhandene zweite Justierleiste auf der rechten Seite von $L$, die zur Lagerung der Ergänzungsschneide nötig ist, weggelassen, um die Verwendung des Justierprismas verständlich zu machen. Da mindestens zwei Prismenpaare von entgegengesetzter Schneidenneigung gebraucht werden, trägt der Trog noch einmal die skizzierten Justiernuten in spiegelbildlicher Lage. Für die beiden Hauptwinkel $30^0$ und $27{,}5^0$ sind außerdem, um zeitraubendes Umstellen der Hauptlamellen $L$ auf den anderen Winkel zu sparen, je ein Trog vorgesehen.

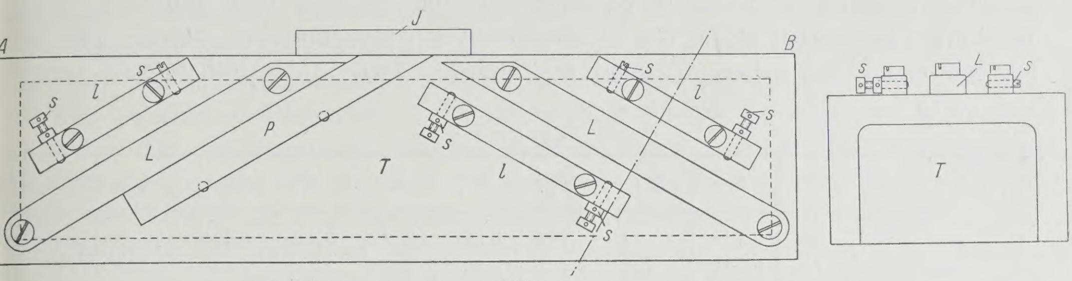


Abb. 9.

Mit der vorstehend beschriebenen neuen Form des Apparates können Messungen folgender Größen vorgenommen werden:

1. Flankendurchmesser nach der Schneidenmethode;
2. Flankendurchmesser nach der Dreidrahtmethode;
3. Ganghöhen;
4. Halbe Profilwinkel (von etwa $M\,6$ aufwärts);
5. Außen- und Kerndurchmesser;
6. Verjüngung von Kegellehren.

Hierzu sind vorgesehen:

4 Paare Prismen mit schmalen Winkelschneiden, und zwar je zwei Paar mit Schneidenneigung \ und / für $30^0$ und $27{,}5^0$. Für Kontrollmessungen und für den Fall von Schneidenbeschädigungen ist es zweckmäßig, die 4 Paare mit Winkelschneiden doppelt vorzuhalten;

1 Paar Prismen mit breiten, zur Meßrichtung senkrechten Meßebenen;

1 Paar Prismen mit etwas verrundeten Spitzen;

2 kleine Galgen aus Messingdraht zum Aufhängen der Meßdrähte (s. Abb. 1);

1 auf die hintere Pinnole aufsteckbare Quadrantteilung aus Zellon ($Q$ in Abb. 1) und einige Zeiger ($Z$ in Abb. 1) zum Aufkitten auf die Prüfobjekte.

## II. Anordnung und Auswertung der Messungen.

Die Verwendung des Apparates wird am einfachsten aus einem Messungsbeispiel (Tab. 1, Gewindelehrdorn $M\,30/3{,}5$) ersichtlich. Die Beobachtungszahlen sind in Antiqua, die Berechnungszahlen kursiv gedruckt. Ein Punkt hinter der Zahl erhöht um eine halbe Einheit der letzten Stelle.

Die Messung zerfällt in die Nullpunktbestimmung, je eine zu Beginn ($I$) und am Schluß ($II$) der Beobachtungen, und die Flankenmessung, immer unter Verwendung des Druckindikators.

Der Gang der Nullpunktsbestimmung ist folgender:

1. Feststellung des linken Prismas in beliebiger Lage, die Schneide nahe der Pinnolenachse, und Anschlagmessung mit dem linken Mikrometer ($Ml$);

2. Anschieben des rechten Prismas mit dem Druckindikator, Feststellung und Anschlagmessung mit *Mr*;

3. Rechtes Prisma bleibt fest, Anschieben des linken Prismas und weiter wie bei 2;

4. Wiederholung der Reihe zur Kontrolle.

Es treten somit immer paarweise dieselben Ablesungen auf. Der oben (S. 35) erwähnte Einfluß der Seitenluft ist in Tab. 1 deutlich erkennbar: bei *Ml* (Reihe *I*) nehmen die Ablesungen ab um 28 bzw. 29 geschätzte partes, bei *Mr* nehmen sie zu um 28 p.; analog in Reihe *II* Verschiebungen um rd. 31 p. (*Ml*) und 33 p. (*Mr*). Die kursiv gedruckten Mittel der Einzelsummen stimmen praktisch überein und bestätigen damit die sichere Wirkung des Druckindikators. Als Nullablesung ergibt sich 0,829.

Tabelle 1.

| | | | *Ml* | *Mr* | *Mr* | *Ml* | *Ml* | *Mr* | *Mr* | *Ml* | 14 *Mr* | 14 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Lehrdorn | O | *I* | 0,422. | 0,422 | 0,422 | 0,394 | 0,394 | 0,450 | 0,450 | 0,365 | 14,450 | 14, |
| *M* 30/3,5 | | *II* | 0,421 | 0,425 | 0,425 | 0,390 | 0,390 | 0,458. | 0,458. | 0,358. | 14,457 | 14, |
| Prismen | | *Σ I* | *0,844.* | | *0,816* | | *0,844* | | *0,815* | | *14,000* | *14,* |
| ＼*M* 1 | | *m I* | | *0,830* | | *0,829.* | | *0,829.* | | | *13,998.* | *14,* |
| | | *Σ II* | *0,846* | | *0,815* | | *0,848.* | | *0,817* | | *m Σ 28,0* | |
| | | *m II* | | *0,830.* | | *0,829* | | *0,827.* | | | *Corr. auf* | |
| | | Null | | | | *0,829* | | | | | *— 0,001* | |
| 29. Aug. 10 | | *Dm* | *I h* | *I v* | *II h* | *II v* | *III h* | *III v* | *IV h* | *IV v* | *m I—IV* | |
| *A* 9h 55min | *M* 30 | *L* 1 | 163,15 | 180,65 | 164,00 | 181,50 | 164,90 | 182,40 | 165,70 | 183,20 | *28,539* | |
| *E* 11h 9min | | *Ml* | 14,145 | 14,143. | 14,118 | 14,143 | 14,085 | 14,110 | 14,280 | 14,287. | *— 0,829* | |
| *t* | | *Mr* | 14,443. | 14,427 | 14,395 | 14,373 | 14,413 | 14,395 | 14,292 | 14,278 | *27,710* | |
| *A* 23,0° | | *L* 2 | 163,45 | 180,95 | 164,30 | 181,80 | 165,20 | 182,70 | 166,00 | 183,50 | *— 0,001* | |
| *E* 22,5° | | *Ml* | 13,616 | 13,625 | 13,605 | 13,628 | 13,571 | 13,594 | 13,758 | 13,769 | ***27,709*** | |
| Beob. G. | | *Mr* | 14,959. | 14,945 | 14,910 | 14,889 | 14,930 | 14,919 | 14,811. | 14,795 | | |
| | | *L* 3 | 163,75 | 181,25 | 164,60 | 182,10 | 165,50 | 183,00 | 166,30 | 183,80 | | |
| | | *Ml* | 13,096. | 13,106 | 13,075 | 13,108 | 13,050. | 13,078. | 13,239. | 13,252 | | |
| | | *Mr* | 15,477. | 15,467 | 15,427 | 15,405 | 15,450 | 15,429 | 15,329 | 15,309. | | |
| | *Ml* + *Mr* bei | *L* 1 | *28,588.* | *28,570.* | *28,513* | *28,516* | *28,498* | *28,505* | *28,572* | *28,565.* | | |
| | | *L* 2 | *28,575.* | *28,570* | *28,515* | *28,517* | *28,501* | *28,513* | *28,569.* | *28,564* | | |
| | | *L* 3 | *28,574* | *28,573* | *28,502* | *28,513* | *28,500.* | *28,507.* | *28,568.* | *28,561.* | | |
| | *m* | | *28,579* | *28,571* | *28,510* | *28,515.* | *28,500* | *28,508.* | *28,570* | *28,563.* | | |
| | *m I/III h* | | | *28,539.* | | | | | | | | |
| | *m II/IV h* | | | | | | | *28,540* | | | | |
| | *m I/III v* | | | *28,539.* | | | | | | | | |
| | *m II/IV v* | | | | | | | *28,539* | | | | |

An die Nullablesungen *I* und *II* ist je eine Kontrolle der Mikrometerschrauben angeschlossen. Die Prismen bleiben unverändert fest in ihrer letzten Stellung, die Mikrometer werden zurückgedreht, auf beiden Seiten nacheinander ein Endmaß von der Größenordnung des halben Flankendurchmessers (im Tabellenbeispiel 14 mm) zwischen Prismenanschlag und Mikrometer eingelegt und gemessen. Bei Fehlerfreiheit der Schrauben und normaler Lage der Anschlagflächen müßten die Kontrollablesungen lauten:

| für 14 *Mr* | für 14 *Ml* |
|---|---|
| 14,450 | 14,365 |
| 14,458. | 14,358. |

In Wirklichkeit ergibt sich als Korrektion auf mm der Wert — 0,001., der bei der Berechnung des Flankendurchmessers zu berücksichtigen ist.

Nach Aufnahme des Lehrbolzens zwischen die Spitzen folgen jetzt die Durchmesserbestimmungen, wieder unter Benutzung des Druckindikators beim Anstellen der Schneiden. Der Einfluß der Seitenluft geht dabei in gleichem Sinne ein wie bei der Nullbestimmung. In der Tabelle bedeuten *L* 1, *L* 2, *L* 3 die verschiedenen Stellungen des Längsschlittens, abgelesen an der Längsschraube, *Ml* und *Mr* die in diesen Schlittenstellungen gewonnenen Mikrometerablesungen, *I* bis *IV* die vier Quadranten, in denen die Messungen nahe dem hinteren Ende der Schraube (*h*) und nahe dem vorderen (*v*) erfolgte. Die einzelnen Flanken sind demnach in unserem Beispiel hinten und vorn in drei Punkten im Längsabstand 0,3 mm berührt worden. Zwischen den Ablesungen *h* und *v* liegt die konstante Längsverschiebung 17,5 = 5 × 3,5. Die Berührung in drei Flankenpunkten erlaubt neben der Bestimmung des halben Profilwinkels ein Urteil über den Verlauf der Flankenerzeugenden; die Messungen *h* und *v* ergeben die Gewindesteigung und eine etwa vorhandene Abweichung des Gewindes von der Zylindergestalt; durch die Anstellung der Schneiden in den vier Durchmessern und Mittelung der Teilresultate wird die Exzentrizität des Gewindes eliminiert. Tabelle 1 enthält somit zunächst die 24 Durchmesserablesungen *Ml* + *Mr* für *h* und *v* in den Stellungen *L* 1, *L* 2, *L* 3, während unter *m* die Mittel für jede Durchmesserlage gegeben sind. Diese Werte *m* zeigen Abweichungen voneinander bis zu rd. 0,06 mm. Mittelt man jedoch wie in den letzten vier Zeilen der Tabelle die zusammengehörenden Werte *I*/*III* und *II*/*IV*, so ergibt sich eine vollkommene Übereinstimmung der Zahlen, also die Bestätigung, daß die recht erheblichen Abweichungen nur durch Schlagfehler hervorgerufen sind. Die letzten Kursivzahlen in Tabelle 1 rechts ergeben dann als Flankendurchmesser des Gewindes 27,709 mm.

Es ist nun unerläßlich, die Messung mit Prismen entgegengesetzter Schneidenneigung zu wiederholen, da nur so der zwar geringe aber einflußreiche Neigungsfehler in der Senkrechtstellung der Prismenachsen zur Gewindeachse ausgeschaltet wird.

Um die Sicherheit der ganzen Meßmethode darzutun, sollen außer dieser notwendigen Ergänzungsmessung noch zwei weitere Messungen an demselben Gewinde mit anderen Prismenpaaren mitgeteilt werden. Die somit vorliegenden vier Bestimmungen des Flankendurchmessers ergaben

| | | | |
|---|---|---|---|
| mit den Prismen | ╲*M* 1 | 27,709 mm | Mittel 27,718 mm (Soll 27,727 mm). |
| „ „ „ | ╲*M* 2 | 27,707 „ | |
| „ „ „ | ╱*M* 3 | 27,728 „ | |
| „ „ „ | ╱*M* 4 | 27,728 „ | |

Betrachten wir den Flankenverlauf noch näher. In der Tabelle 2 sind die in den Längsschrauben-Stellungen *L* 1 *L* 2 *L* 3 je als Mittel aus 8 Durchmesserbestimmungen gewonnenen Werte für die benutzten 4 Schneidenpaare aufgeführt.

Tabelle 2.

| Prismen | ╲*M* 1 | ╲*M* 2 | ╱*M* 3 | ╱*M* 4 | Mittel |
|---|---|---|---|---|---|
| bei *L* 1 | 27,710. | 27,706 | 27,724. | 27,727 | 27,717 |
| bei *L* 2 | 27,710 | 27,709 | 27,730 | 27,730 | 27,720 |
| bei *L* 3 | 27,707. | 27,706 | 27,728 | 27,728 | 27,717 |
| Mittel | 27,709 | 27,707 | 27,727. | 27,728 | 27,718 |

Die Einzelwerte, etwa mit Ausnahme derjenigen von *M*1, erweisen die Flanken konvex, mit einer Pfeilhöhe von ca. 1,5 $\mu$, ein Betrag, der auch schon durch Fehler in der Politur veranlaßt sein kann.

Daß man durch geeignete Gruppierung der einzelnen *h*- und *v*-Werte der Flankendurchmesser auf Konizität prüfen kann, bedarf keiner Erläuterung.

Es soll jetzt kurz auf die Anwendung der Dreidrahtmethode zur Bestimmung von Flankendurchmessern eingegangen werden. Wie bei der Besprechung der Abb. 1 erwähnt, ist dort der Apparat in der Zurüstung für die Drahtmethode gezeigt. Als Meßprismen dienen solche mit breiten achsensenkrechten und planparallelen Meßebenen von $8 \times 2{,}5$ mm², deren horizontale Mittellinie in Spitzenhöhe liegt. Die Galgen zur Aufhängung der Drähte sind auf die inneren freien Enden der Prismen mit etwas Reibung aufgesteckt. Die Messung erfolgt wieder unter Verwendung des Druckindikators sowie in den vier Quadrantenlagen des Gewindes; wenn man will, kann man die Messungen noch dadurch sichern, daß man in allen Lagen die Drähte vertauscht, also die Doppeldrähte einmal rechts und dann links einlegt. In Tab. 3 ist ein Beobachtungsbeispiel mit der Drahtmethode gegeben, gewonnen an dem gleichen in Tab. 1 gemessenen Gewindelehrdorn. Die Nullpunktbestimmung erfolgt aus naheliegenden Gründen unter Zwischenlegung eines der Meßdrähte und Anschub mit dem Druckindikator. Die Meßschraubenfehler sind durch Ausmessung von Endmaßen ermittelt, wie oben erläutert.

Tabelle 3.

| Lehrdorn | Objekt | *Ml* | *Mr* | $\Sigma$ | *m* | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *M* 30/3,5 | *h* ·: I | 16,910 | 18,300 | *35,210* | *35,210* | |
| | II | 16,908 | 18,303 | *35,211* | | |
| Prismen | III | 16,906 | 18,305 | *35,211* | | |
| ∥ | IV | 16,907 | 18,302. | *35,209.* | | |
| | *h* :· I | 16,910 | 18,300 | *35,210* | *35,209* | |
| 29. Aug. 16 | II | 16,906. | 18,303 | *35,209.* | | |
| | III | 16,906 | 18,302 | *35,208* | | |
| *A* 12ʰ 0ᵐⁱⁿ | IV | 16,908. | 18,301 | *35,209.* | | |
| *E* 12ʰ 50ᵐⁱⁿ | *v* ·: I | 16,909 | 18,301. | *35,210.* | *35,210* | |
| | II | 16,913 | 18,297 | *35,210* | | |
| *t* | III | 16,914 | 18,296. | *35,210.* | | |
| *A* 23,0° | IV | 16,906 | 18,302 | *35,208* | | |
| *E* 23,0° | *v* :· I | 16,907. | 18,303 | *35,210.* | *35,210* | Berechnung: |
| | II | 16,915 | 18,295 | *35,210* | | *35,210* |
| | III | 16,916 | 18,294 | *35,210* | | — *5,759* |
| | IV | 16,906. | 18,303 | *35,209.* | | *29,450.* |
| | Dr. 2,38 | 1,334 | 4,426 | *5,760* | *5,759.* | + *2,379.* |
| | | 1,333 | 4,426 | *5,759* | | *31,830* |
| Beob. *G.* | 15 mm | 16,334 | 19,428 | *35,762* | *35,762.* | — *0,003* |
| | | 16,334. | 19,428. | *35,763* | | *31,827* mm |

Die absichtlich besonders ausführlich durchgeführte Dreidrahtmessung zeigt somit bei den einzelnen Beobachtungswerten $\Sigma$ recht gute Übereinstimmung. Reduziert man das mit 31,827 mm gefundene Prüfmaß nach der strengen Formel[1] unter Zugrundelegung der tatsächlichen, aus den Schneidenmessungen abgeleiteten Werte für die Steigung und den Profilwinkel, so ergibt sich als Flankendurchmesser 27,720 mm.

[1] S. u. a. Berndt a. a. O. *S. 301.*

Dieser Wert ist nicht vergleichbar mit dem nach Tab. 2 mit der Schneidenmethode gewonnenen Gesamtmittel 27,718 mm, sondern allein mit 27,720 mm, gemessen ungefähr in Flankenmitte bei $L\,2$, also dort, wo die Drähte günstigsten Durchmessers gerade berühren. Die auf ganz verschiedenen Wegen erhaltenen Flankendurchmesser sind also identisch. Eine derart günstige Übereinstimmung hat sich fast ausnahmslos bei zahlreichen mit dem Gewindemeßgerät durchgeführten Prüfungen ergeben und bestätigt die Gleichwertigkeit beider Methoden bei kritischer Durchführung.

Wir betrachten jetzt noch kurz die Berechnung der Steigung und des halben Flankenwinkels.

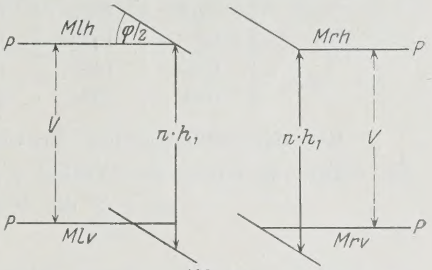


Abb. 10.

Die Berechnung der Steigung geht aus Abb. 10 hervor. Zwischen den $h$- und $v$-Ablesungen der Tab. 1 wurden die Prismenachsen $P$ nominal um eine ganze Anzahl Gänge ($V$) verschoben. Die Ablesungen $h$ und $v$ müßten innerhalb der Meßgenauigkeit identisch sein, wenn $V = n \cdot h_1$. Beachtet man, daß die Mikrometer-Ablesungen mit dem Abstand des Berührungspunktes der Prismen von der Gewindeachse größer werden, so ergibt sich aus Abb. 10 die Beziehung

$$n \cdot h_1 - (Mlv - Mlh)\,\mathrm{tg}\,\varphi/2 = V = n \cdot h_1 - (Mrh - Mrv)\,\mathrm{tg}\,\varphi/2 .$$

Die aus dem Beispiel Tab. 1 abgeleiteten Klammerwerte sind in Tab. 4 zusammengestellt. Sie zeigen wieder deutlich den Einfluß der Exzentrizität.

Tabelle 4.

| *Mlv — Mlh* | | | | *Mrh — Mrv* | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| I | II | III | IV | I | II | III | IV |
| — 1. | + 25 | + 25 | + 7. | + 16. | + 22 | + 18 | + 14 |
| + 9 | + 23 | + 23 | + 11 | + 14. | + 21 | + 11 | + 16. |
| + 9. | + 33 | + 28 | + 12. | + 10. | + 22 | + 21 | + 19. |
| Mittel | + 17 μ | | | Mittel | + 17 μ | | |

Die Steigungsmessung erfolgte über 5 Gänge bei einer Verschiebung

$$V = 17{,}5000 + 0{,}0006 \text{ mm},$$

wo $+ 0{,}0006$ mm die mit Endmaßen ermittelte Korrektion der Längsschraube ist. Demnach ist

$$5\,h_1 - 0{,}017 \cdot 0{,}58 = 17{,}5006, \qquad (0{,}58 = \mathrm{tg}\,30^0)$$

$$5\,h_1 = 17{,}5104,$$

$$h_1 = 3{,}5021 \text{ mm}.$$

Die gleiche Messung mit den anderen Schneidenpaaren ergab

für $\diagdown M\,2$ $h_1 = 3{,}5020$ mm,

„ $\diagup M\,3$ $h_1 = 3{,}5012$ „ ,

„ $\diagup M\,4$ $h_1 = 3{,}5010$ „ .

Als Mittel aus den vier Schneidenpaaren folgt

$$\underline{h_1 = 3{,}5016 \text{ mm}.}$$

Weiter geben die bei einer bestimmten Längsverschiebung des Schlittens (in Tab. 1 $L\,3 - L\,1 = 600\,\mu$) gemessenen Differenzen $\varDelta\,\mu$ der Mikrometer-Ablesungen $Ml$ und $Mr$ aus $\dfrac{L\,3 - L\,1}{\varDelta} = \mathrm{tg}\,\dfrac{\varphi}{2}$ die Winkel zu beiden Seiten der Normalen zur Gewindeachse. In Tabelle 5 sind die $\varDelta$-Werte zusammengestellt, und zwar sind die gegebenen

Zahlen bereits Mittel aus den $h$- und $v$-Ablesungen. Auch sind nicht nur die mit ╲$M$1 nach Tab. 1, sondern auch die mit den anderen drei Schneidenpaaren gemessenen Differenzen aufgeführt. Die Exzentrizität des Gewindes veranlaßt auch bei den $\Delta$-Werten Schwankungen, wenn auch nicht in so gesetzmäßiger Weise wie bei den Durchmesserbestimmungen.

Tabelle 5.

| Prismen | ╲$M$1 $l$ | ╲$M$1 $r$ | ╲$M$2 $l$ | ╲$M$2 $r$ | ╱$M$3 $l$ | ╱$M$3 $r$ | ╱$M$4 $l$ | ╱$M$4 $r$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\Delta\,\mu$ für $L\,3 - L\,1$ | 1043 | 1037 | 1039 | 1039 | 1037 | 1030 | 1034 | 1032 |
| | 1039 | 1032 | 1033 | 1033 | 1039 | 1037 | 1036. | 1037 |
| | 1033 | 1035. | 1037. | 1038 | 1042 | 1037. | 1031 | 1037 |
| | 1038 | 1034 | 1035 | 1033 | 1041 | 1036 | 1039 | 1031 |

Bei der rechnerischen Verwertung der 32 Differenzen ist zu beachten, daß je die Hälfte zu einem der Winkel $\varphi'/2$ und $\varphi''/2$ gehört, und zwar

zu $\varphi'/2$ die Werte ╲$Ml$ und die Werte ╱$Mr$,
„ $\varphi''/2$ „ „ ╱$Ml$ „ „ „ ╲$Mr$.

Als Mittel aus beiden Serien folgt

$$\Delta' = 1036{,}0\ \mu,$$

und

$$\Delta'' = 1036{,}3\ \mu,$$

mit einem mittleren Fehler des Mittelwerts

$$\varepsilon' = \pm 1\ \mu,$$

$$\varepsilon'' = \pm 0{,}8\ \mu.$$

Die Mittel $\Delta'$ und $\Delta''$ dürfen demnach als identisch gelten, m. a. W., die Winkelhalbierende steht senkrecht zur Gewindeachse. Der Winkelwert selbst ergibt sich

$$\text{aus} \quad \frac{600}{1036} = \operatorname{tg} \varphi/2$$

$$\text{zu} \quad \underline{\varphi/2 = \text{rd. } 30^0\,4{,}7' \pm 1{,}5'.}$$

Es soll jetzt noch die Anordnung der **Kegelmessungen** an Hand eines Beispieles besprochen werden. Der Kegel wird wie der Gewindelehrdorn zwischen Spitzen genommen und unter schrittweiser gleicher Längsverschiebung des Schlittens die Durchmesser mit den Spitzenprismen unter Verwendung des Druckindikators in 4 Quadranten gemessen, wie das Beispiel in Tab. 6 zeigt.

Tabelle 6.

Morsekegel 1. 29. Juni 5. $A$ $9^h\,2^{min}$, $E$ $10^h\,4^{min}$. Beob. G.

| $L$ Umdr. | Durchmesser I $l$ | I $r$ | II $l$ | II $r$ | III $l$ | III $r$ | IV $l$ | IV $r$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 6,932 | 8,395 | 6,980 | 8,348 | 6,969. | 8,360 | 6,917 | 8,410 |
| 10 | 6,684 | 8,144 | 6,736 | 8,093 | 6,723 | 8,106. | 6,667. | 8,161 |
| 20 | 6,436 | 7,892 | 6,491 | 7,837 | 6,477. | 7,851. | 6,417 | 7,910. |
| 30 | 6,186. | 7,640 | 6,246. | 7,583 | 6,231 | 7,597. | 6,167 | 7,661 |
| 40 | 5,939 | 7,390 | 6,000. | 7,327 | 5,986 | 7,343. | 5,917 | 7,411 |
| Diff. | *0,248* | *0,251* | *0,244* | *0,255* | *0,246.* | *0,253.* | *0,249.* | *0,249* |
| | *0,248* | *0,252* | *0,245* | *0,256* | *0,245.* | *0,255* | *0,250.* | *0,250.* |
| | *0,249.* | *0,252* | *0,244.* | *0,254* | *0,246.* | *0,254* | *0,250* | *0,249.* |
| | *0,247.* | *0,250* | *0,246* | *0,256* | *0,245* | *0,254* | *0,250* | *0,250* |
| $\Sigma$ | *0,993* | *1,005* | *0,979.* | *1,021* | *0,983.* | *1,016.* | *1,000* | *0,999* |
| Mittel | *0,9990* | | *1,0002* | | *1,0000* | | *0,9995* | |
| | *I/III 0,9995* | | *II/IV 0,9998.* | | | | *m = 0,9997* | |

Die Berechnung (in Kursiv-Ziffern) enthält zunächst die Einzeldifferenzen der Mikrometerablesungen $l$ und $r$, aus denen hervorgeht, daß die Kegelerzeugende innerhalb der Ablesegenauigkeit gerade ist. Die Summen $\Sigma$ lassen durch die Abweichungen zwischen $l$ und $r$ deutlich den Lagefehler der Prismenachse zur Spitzenachse erkennen, wenn er auch bei IV durch kleine Gestaltsfehler des Kegels verwischt erscheint. Die Mittelwerte der beiden letzten Zeilen der Tabelle zeigen eine geringe Exzentrizität.

Das Gesamtmittel $m = 0{,}9997$ mm für die durch Endmaßmessung berichtigte Gesamtverschiebung des Schlittens von 39,998 mm ergibt für den halben Kegelwinkel

$$\frac{\alpha}{2} = 1^0\,25'\,54'',$$

während aus Messungen mit der Spiegelmethode[1]

$$\frac{\alpha}{2} = 1^0\,25'\,52''$$

gefunden wurde.

Zum Schluß noch einige Bemerkungen über die Ökonomie des Apparates. Die vorstehend als Beispiele wiedergegebenen Messungen sind besonders ausführlich angelegt, um ein sicheres Urteil über ihre Genauigkeit zu ermöglichen. Die umfassende Messung Tab. 1 hat infolgedessen 74 Minuten in Anspruch genommen. Beim ständigen Gebrauch des Instruments wird man das Schema der Gewindemessung ohne Nachteil für die Genauigkeit wesentlich vereinfachen dürfen. So können unter Umständen die 16 Ablesungen in der Schlittenstellung $L$ 2 wegfallen, die Durchmesser auf I und III (also unter Drehung von $180^0$) beschränkt, und so eine wesentliche Verminderung des Zeitaufwandes herbeigeführt werden. Das gleiche gilt, und zwar in erhöhtem Maße, von der Dreidrahtmessung, Tab. 3, und der Kegelprüfung, Tab. 6. Da der Apparat bequemes Arbeiten im Sitzen (am besten auf einem Drehstuhl) erlaubt, ist auch bei anhaltenden Messungen keine Ermüdung zu befürchten.

Die Herstellung des vorstehend beschriebenen verbesserten Gewindemeßgeräts hat die Firma Alig & Baumgärtel, Präzisionswerkzeugfabrik in Aschaffenburg, übernommen.

---

# Dampfdrucke einiger wäßriger Lösungen und ihre Verwendung zur Herstellung bestimmter relativer Feuchtigkeiten.

Von
**H. Ebert** in Charlottenburg.
(Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.)

Zur Herstellung relativer Feuchtigkeiten in geschlossenen Räumen werden mit Erfolg wäßrige Lösungen von Salzen und Säuren benutzt. Dieses Verfahren findet u. a. zur Eichung von Hygrometern, zu Kabeluntersuchungen und ähnlichen Versuchen Verwendung.

Im folgenden sind die Dampfdrucke einiger wäßriger Lösungen angegeben. Diese Drucke sind aus eigenen Beobachtungen gewonnen und aus bereits vorliegenden Messungen anderer Beobachter ergänzt. Zur Übersicht sind die Dampfdrucke in Abhängigkeit von der Konzentration und der Temperatur in Tabellen zusammengestellt. Unter-

---

[1] *Diese Zeitschr.* **43**. *S. 102. 1923.*

sucht wurden wässrige Lösungen von $H_2SO_4$, $CaCl_2$, $Ca(NO_3)_2$, KCl, NaCl und $PHO_3$; letztere drei nur in gesättigtem Zustand. Zur Messung dieser Dampfdrucke dienten drei verschiedene Verfahren:

### 1. Die Absorptionsmethode.

Eine bestimmte Luftmenge, die mit der zu untersuchenden Lösung genügend in Berührung gebracht war, wurde

a) mittels Phosphorpentoxyd getrocknet. Die Gewichtszunahme des Trockenmittels (Obermillersches Absorptionstürmchen), umgerechnet für 1 m³ Luft und dividiert durch die maximal in 1 m³ vorhandene Feuchtigkeitsmenge, ergab die relative Feuchtigkeit;

b) mittels flüssiger Luft getrocknet, indem in einem U-förmigen Teil einer besonderen Apparatur (siehe Abb. 1) der Wasserdampf ausgefroren wurde[1]. Darnach wurde der Hahn $B$ geschlossen, der Zweiwegehahn $D$ in Richtung zur Pumpe umgestellt und das U-Rohr evakuiert, bis das angeschlossene McLeodsche Vakuummeter ein gutes Vakuum anzeigte. Darauf wurde ein bestimmter Teil der Apparatur, dessen Volumen genau bestimmt ist, durch Quecksilber abgeschlossen (von Hahn $B$ bis zur Spitze $A$ der Abb. 1), das auf die Spitze $A$ aus einem unteren Quecksilberreservoir durch den Dreiwegehahn eingestellt wurde. Die flüssige Luft wurde entfernt und die ganze Apparatur bis zur Linie $WW$ in ein Wasserbad gesetzt (Bad II in Tabelle 1b, S. 45). Nachdem die Temperatur des Thermostaten so eingestellt war, daß sich in dem abgeschlossenen Teil nur noch überhitzter Wasserdampf befindet, wird der Druck gemessen, unter dem dieser überhitzte Wasserdampf steht. Ist $V_0$ das Volumen des abgeschlossenen Teils, $T_{asp}$ die Temperatur des Aspirators, $V$ das Volumen der vom Aspirator durchgesaugten Luft, $T_u$ die Temperatur, bei der der Druck $p_u$ des überhitzten Wasserdampfes in $AB$ gemessen wurde, ist ferner $B_{sat}$ der Druck der Luft, während sie mit der wäßrigen Lösung in Berührung ist, $B_{asp}$ der Luftdruck im Aspirator während des Durchsaugens, so ist der gesuchte Dampfdruck[2]:

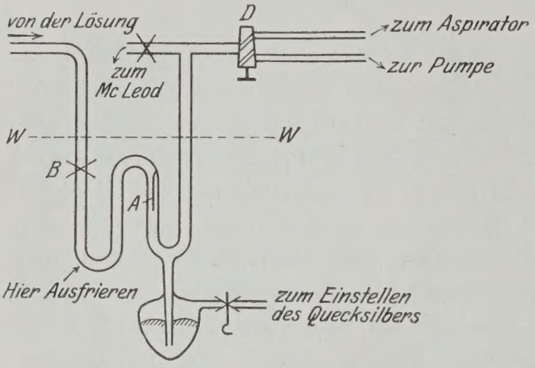


Abb. 1. Messung des Dampfdruckes nach Absorptionsmethode 1b.

$$p = \frac{V_0 \cdot p_u}{V} \cdot \frac{B_{sat} \cdot T_{asp}}{B_{asp} \cdot T_u}. \qquad 1)$$

### 2. Die manometrische Methode.

Sie ist von Nernst und Schottky[3] in früheren Untersuchungen benutzt worden. Ein Gefäß $A$ (siehe Abb. 2) enthält die betreffende Salzlösung. Nach dem Evakuieren wird mittels des Hahnes $B$ die Leitung zwischen Pumpe und Salzlösung unterbrochen, in das U-Rohr $C$ Quecksilber eingeleitet. $A$ kommt in einen Thermostaten,

[1] I. R. McHaffie, *Journ. Am. Chem. Soc.* **48.** *S. 1143. 1926.*
[2] J. R. McHaffie, *Journ. Chem. Soc. S. 112. 1927.*
[3] H. Schottky, *Zeitschr. f. physikal. Chemie* **64.** *S. 434. 1908.*

mit dessen Hilfe eine bestimmte Temperatur eingestellt wird. Darauf wird auf Ausgleich des Druckes gewartet (bis zu 24 Stunden) und inzwischen mit einem Kathetometer der Druck am U-Rohr gemessen, bis sich eine Änderung nicht mehr zeigt. Die Dichte der Lösung wird nach dem Versuch bestimmt.

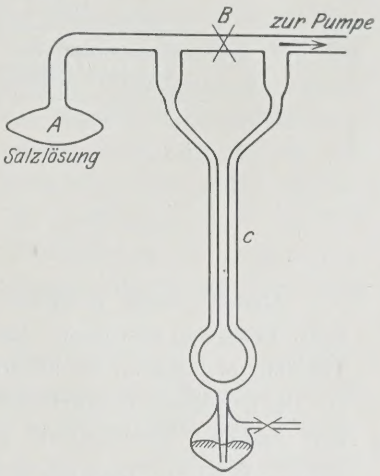



Abb. 2. Messung des Dampfdruckes: manometrische Methode.

Die Methoden 1a und 2 sind bei einigen Lösungen gleichzeitig angewendet und haben innerhalb der erreichten Genauigkeit Übereinstimmung in den Werten des Dampfdruckes gegeben.

Bevor die endgültigen Ergebnisse mitgeteilt werden, soll für jede der angewendeten Methode ein Beispiel aus dem Versuchsprotokoll gegeben werden[1].

Tabelle 1a.

Absorptionsmethode 1a. $CaCl_2$.

Dichtebestimmung (pyknometrisch): 1,3580 g/cm³ bei 18,2°. Daraus Prozentgehalt der Lösung (g wasserfreie Substanz in 100 g Lösung) gemäß unten aufgeführter Tabelle: 36,5%.

| Temperatur des Bades, in dem sich die Lösung befindet | im Aspirator Temperatur | Unterdruck | Barometerstand | Durchgesaugte Menge[2] |
|---|---|---|---|---|
| 16,6° | 17,8° | 19 mm Hg | 770,05 mm Hg | 6,15 l<br>korr. 5,95 l |

Gewicht des Türmchens nach dem Durchsaugen: 22,3485 g
„ „ „ vor „ „ : 22,3079 g
40,6 mg

Mithin nach den unter 1a angestellten Überlegungen relative Feuchtigkeit: $\varphi = 48{,}1\%$.
Das ergibt für den Dampfdruck $p_0 \cdot \varphi = p = 6{,}81$ mm Hg.
$p_0$ = Sättigungsdruck des Wassers bei 16,6°.

Tabelle 1b. Absorptionsmethode 1b. $H_2SO_4$.

Dichtebestimmung (aräometrisch): 1,610 g/cm³ bei 19°: Daraus Prozentgehalt der Lösung: 70,5%.

| Temperatur der wäßrigen Lösung | im Aspirator Temperatur | Unterdruck | Durchgesaugte Luftmenge | Vakuum (McLeod) | Barometer | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 23,0° | 22,8 | 12,5 mm Hg | 545 cm³ | $4 \cdot 10^{-4}$ | 756,50<br>— 1,96<br>754,54 | 20° |

| Bad II s. u. 1b | Ablesungen am Manometer | | daraus Druck $p_u$ | |
|---|---|---|---|---|
| 20,5° | 173,0<br>173,2 | 188,6<br>188,6 | 15,5<br>15,1 | 15,35<br>— 0,64;<br>14,71 |

korr. wegen kondensierter Kohlensäure.

Also nach Formel 1) $p = 30{,}88 \cdot 14{,}71 \cdot \frac{745}{545} \cdot \frac{296}{294 \cdot 731} = 0{,}85$ mm Hg.

[1] Zu den Beobachtungen wurde der Technische Sekretär Sperling hinzugezogen.

[2] Die durchgesaugte Luftmenge ist durch das Gewicht des aus dem Aspirator abgelaufenen Wassers bestimmt.

Tabelle 1c. Manometrische Methode. $Ca(NO_3)_2$. Dichtebestimmung (pyknometrisch): 1,433 g/cm³ bei 20,3°, also Prozentgehalt 45,5%.

| Temperatur der wäßrigen Lösung | Ablesungen am Manometer | | Dampfdruck |
|---|---|---|---|
| 20,5° | 310,8 | 323,3 | 12,5 |
| | 310,8 | 323,3 | 12,5 |
| | 311,6 | 324,0 | 12,4 |
| | 311,6 | 323,9 | 12,3 |
| | | | 12,42 mm Hg |

Gemäß dieser Beispiele sind die Dampfdrucke der anfangs aufgeführten wäßrigen Lösungen bestimmt. Es wird davon abgesehen, diese Zahlenwerte in gesonderten Tabellen anzugeben, da im folgenden die gewonnenen Ergebnisse den von anderen Beobachtern gefundenen Werten gegenübergestellt werden sollen. In den Diagrammen, die die Abhängigkeit des Dampfdruckes von dem Prozentgehalt der Lösung bei verschiedenen Temperaturen wiedergeben, sind die neuen Werte besonders hervorgehoben.

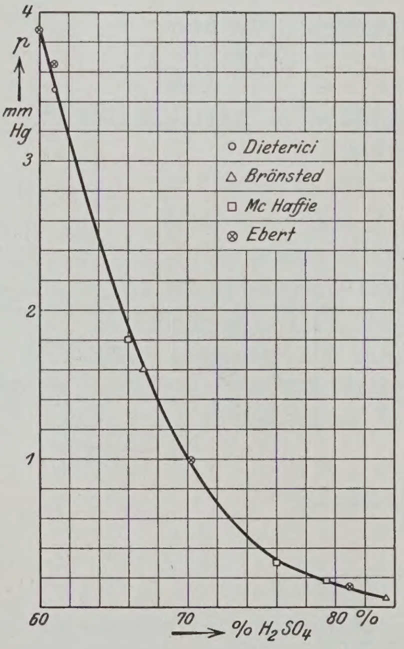



Abb. 3. Dampfdrucke von Schwefelsäure-Wassergemischen mit hohem Schwefelsäuregehalt bei 25°.

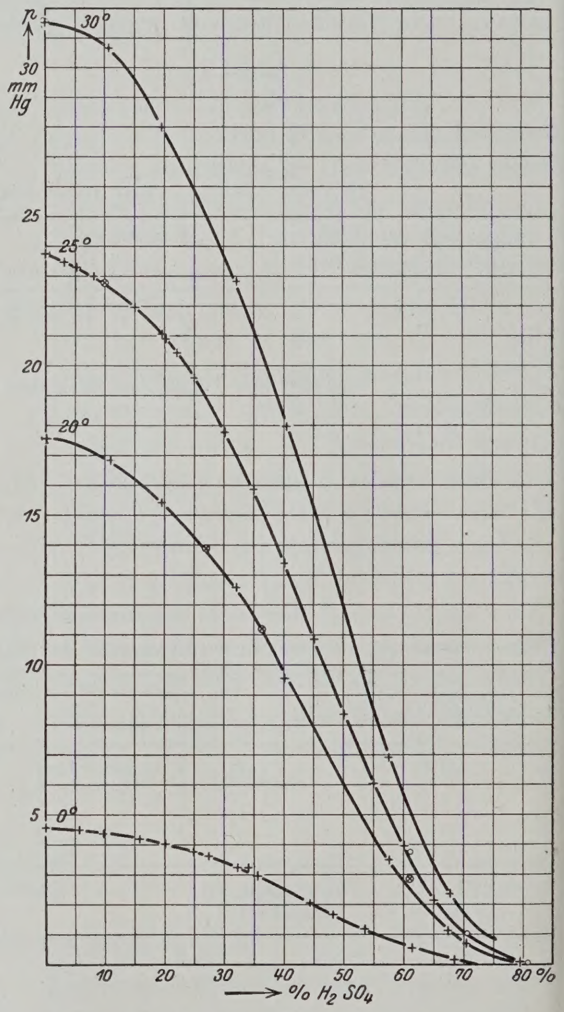



Abb. 4. Dampfdrucke von Schwefelsäure-Wassergemischen bei verschiedenen Temperaturen.

Aus diesen Kurven sind dann Tabellen abgeleitet, die für den praktischen Gebrauch zur Einstellung der Feuchtigkeit dienen sollen. Es empfiehlt sich, zur bequemen Herstellung der Lösung die Dichteangaben zu benutzen. Daher ist jeweils eine Tabelle aufgenommen, die die Abhängigkeit der Dichte vom Prozentgehalt der Lösung enthält.

$H_2SO_4$: Eine ausführliche Beschreibung der bisher erschienenen Messungen an Schwefelsäure-Wassergemischen hat Hepburn[1] im Jahre 1928 gegeben. Die eigenen Untersuchungen erstrecken sich auf die Werte der relativen Feuchtigkeit von 80 und 65% und dazu auf ganz hoch konzentrierte Schwefelsäure-Wassergemische. Diese letzteren wurden besonders mit den von McHaffie (a. a. O.) und anderen Beobachtern gefundenen Werten zusammengestellt; siehe Abb. 3. In dieser Abbildung sind für die Konzentrationen 60 bis 85% die Werte der Beobachter McHaffie, Dieterici, Brönstedt[2] und Ebert aufgenommen. Man erkennt, daß die vorliegenden z. T. bei 25° beobachteten, z. T. auf 25° umgerechneten Werte der Dampfdrucke die ausgezogene Kurve gut sichern. Daß die in der Kurve nicht aufgenommenen Werte von Regnault zu hoch sind, hat bereits Helmholtz[3] erwähnt.

In Abb. 4 sind die Dampfdruckwerte bei den Temperaturen 0, 20, 25 und 30° dargestellt. Aus diesen Kurven sind dann für Konzentrationen der Lösungen von 10 zu 10% Dampfdruckwerte abgelesen, die in Tabelle 2 zusammengestellt sind. In der ersten Spalte dieser Tabelle steht die Konzentration in Gramm wasserfreier Substanz auf 100 g Lösung.

Die nächsten vier Spalten enthalten die Dampfdrucke bei den eben angeführten Temperaturen.

Die Tabelle 2a enthält eine Umrechnung der Tabelle 2 auf relative Feuchtigkeit (abgerundet auf ganze Prozent), während Tabelle 2b die Dichte der wäßrigen Lösung in Abhängigkeit von der Konzentration bei 18° angibt[4]. Dabei wird darauf hingewiesen, daß bei höheren Konzentrationen zwischen den einzelnen Beobachtern Differenzen in den Angaben des spezifischen Gewichtes vorhanden sind[5].

Tabelle 2.

$H_2SO_4$. Dampfdrucke in mm Hg.

Abrundung (für Drucke der Lösung): 0,05 mm Hg.

| $H_2SO_4$ % | 0° | 20° | 25° | 30° |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 4,58 | 17,54 | 23,76 | 31,82 |
| 10 | 4,40 | 16,95 | 22,75 | 30,75 |
| 20 | 4,05 | 15,30 | 20,90 | 27,85 |
| 30 | 3,40 | 13,10 | 17,85 | 23,65 |
| 40 | 2,55 | 9,70 | 13,45 | 18,30 |
| 50 | 1,50 | 6,05 | 8,50 | 12,00 |
| 60 | 0,65 | 2,80 | 4,00 | 5,65 |
| 70 | 0,10 | 0,75 | 0,95 | 1,75 |
| 75 | | | 0,40 | |
| 80 | | | 0,15 | |
| 85 | | | 0,05 | |

[1] Hepburn, *Proc. Phys. Soc.* **40**. *S. 239. 1928.*

[2] Dieterici, *Wied. Ann.* **50**. *S. 47. 1893;* Brönstedt, *Zeitschr. f. physikal. Chem.* **68**. *S. 707. 1909.*

[3] Helmholtz, *Wied. Ann.* **27**. *S. 532. 1886.*

[4] *Wissensch. Abh. d. K. Normal-Eichungskommission. 5. Heft. 1904.*

[5] Pascal, *Bull. Soc. chim. (4)* **25**. *S. 142. 1919.*

Tabelle 2a. $H_2SO_4$. Relative Feuchtigkeit auf 1%.

| $H_2SO_4$ % | 0° | 20° | 25° | 30° |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 10 | 96 | 97 | 96 | 97 |
| 20 | 88 | 87 | 88 | 88 |
| 30 | 74 | 75 | 75 | 74 |
| 40 | 56 | 55 | 57 | 58 |
| 50 | 33 | 34 | 36 | 38 |
| 60 | 14 | 16 | 17 | 18 |
| 70 | 2 | 4 | 4 | 5 |
| 75 | | | 2 | |
| 80 | | | 1 | |

Tabelle 2b. $H_2SO_4$. Dichte bei 18° in g/cm³.

| % | s | % | s | % | s |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0,9986 | 35 | 1,2614 | 70 | 1,612 |
| 5 | 1,0323 | 40 | 1,3043 | 75 | 1,676 |
| 10 | 1,0669 | 45 | 1,349 | 80 | 1,729 |
| 15 | 1,1030 | 50 | 1,397 | 85 | 1,781 |
| 20 | 1,1406 | 55 | 1,447 | 90 | 1,817 |
| 25 | 1,1796 | 60 | 1,500 | 95 | 1,830 |
| 30 | 1,2199 | 65 | 1,555 | 100 | 1,833 |

$CaCl_2$: Für die Dampfdruckwerte $CaCl_2$ in wäßriger Lösung liegen außer den selbstbestimmten, die teils nach Methode 1a, teils nach 2 gewonnen wurden, noch Beobachtungen von Dieterici (a. a. O.), Emden und Sidgwick[1] vor. Die Tabelle der Dichte bei 18° ist dem Lehrbuch der praktischen Physik von Kohlrausch entnommen und stimmt im wesentlichen mit den von Pickering[2] gegebenen Werten überein. Überdies sind für einige Konzentrationen besondere Kontrollmessungen ausgeführt, die Übereinstimmung mit den Pickeringschen Werten zeigten. Obermiller[3] hat $CaCl_2$ in gesättigter Lösung bezüglich seines Dampfdruckes untersucht. Er fand bei 20° 35% relative Feuchtigkeit, einen Wert, der durch die gegebenen Kurven bestätigt wird. Es ist aber darauf hinzuweisen, daß eine Abhängigkeit der relativen Feuchtigkeit von der Temperatur bei der gesättigten Lösung in erhöhtem Maße vorhanden ist. Dieser Umstand, der bei anderen Salzen noch mehr hervortritt, ist bei Versuchen und Eichungen mittels wäßriger Salzlösung zu beachten.

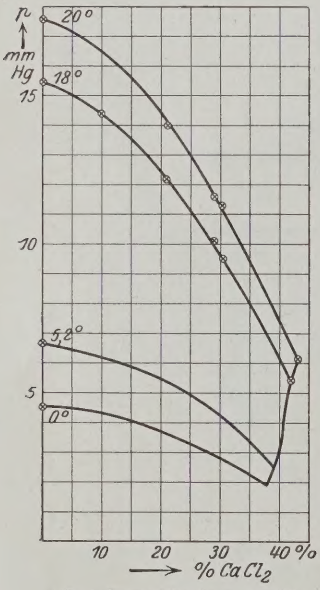


Abb. 5. Dampfdrucke von wäßrigen $CaCl_2$ - Lösungen bei verschiedenen Temperaturen.

Abb. 5 gibt eine graphische Darstellung der vorliegenden Beobachtungen. Die Kurven sind hier, wie bei den

[1] Emden, *Wied. Ann.* **31**. *S. 162. 1887;* Sidgwick, Ewbank, *Journ. Chem. Soc.* **125**. *S. 2268—2273. 1924.*

[2] Pickering, *Ber. Chem. Ges.* **26**. *S. 2787;* **27**. *S. 1379. 1894.*

[3] Obermiller, *Zeitschr. f. angew. Chem.* **37**. *S. 904. 1924.*

folgenden Salzen, bis zur Sättigungskurve gezeichnet. Die Tabellen 3, 3a und 3b sind analog denen bei $H_2SO_4$ zusammengestellt.

Tabelle 3.

$CaCl_2$. Dampfdrucke in mm Hg.

Abrundung (für Drucke der Lösung): 0,05, teils 0,1 mm Hg.

| $CaCl_2$ % | 0° | 5,2° | 18° | 20° |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 4,58 | 6,64 | 15,48 | 17,54 |
| 10 | 4,30 | 6,25 | 14,40 | 16,55 |
| 20 | 3,75 | 5,45 | 12,50 | 14,4 |
| 30 | 2,85 | 4,2 | 9,70 | 11,3 |
| 40 | — | — | 6,15 | 7,4 |
| gesättigt | 1,8 | 2,5 | 5,45 | 6,15 |

Tabelle 3a.

$CaCl_2$. Relative Feuchtigkeit auf 1%.

| $CaCl_2$ % | 0° | 5,2° | 18° | 20° |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 10 | 94 | 94 | 93 | 94 |
| 20 | 81 | 82 | 81 | 82 |
| 30 | 62 | 63 | 63 | 64 |
| 40 | — | — | 40 | 42 |
| gesättigt | 39 | 38 | 35 | 35 |

Tabelle 3b.

$CaCl_2$. Dichte bei 18° in g/cm³.

| $CaCl_2$ % | s |
|---|---|
| 0 | 0,999 |
| 10 | 1,085 |
| 20 | 1,179 |
| 30 | 1,284 |
| 40 | 1,400 |

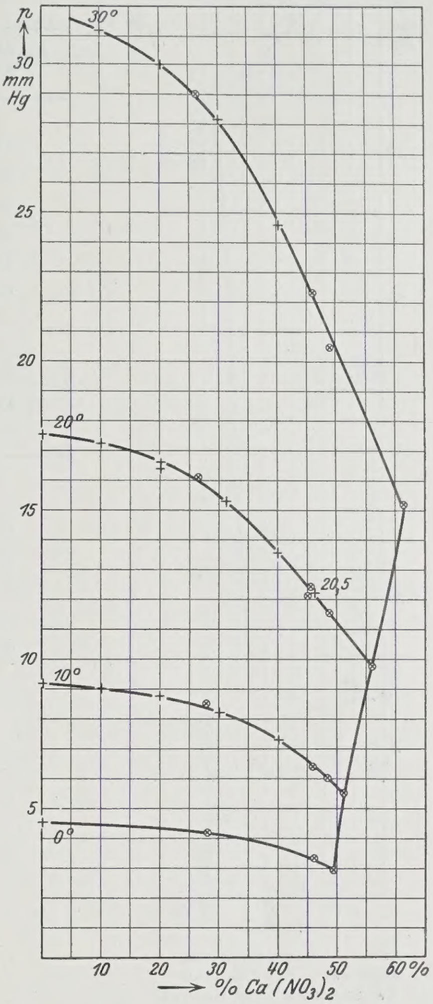



Abb. 6. Dampfdrucke von wäßrigen $Ca(NO_3)_2$-Lösungen bei verschiedenen Temperaturen.

**$Ca(NO_3)_2$**: Die Dampfdrucke von wäßrigen $Ca(NO_3)_2$-Lösungen sind zwischen 20 und 80° und zwischen 20 und 70% Konzentration von Ewing[1] untersucht. Diese Werte sind mit den aus eigenen Messungen gewonnenen in Abb. 6 und Tabelle 4 wiedergegeben. Tabelle 4a enthält die Umrechnung auf Prozent relativer Feuchtigkeit und Tabelle 4b die Dichte nach Gerlach-Jones[2]. Diese Werte sind durch eigene Messungen geprüft. Obermiller (l. c.) hat für die gesättigte Lösung bei 20° die relative Feuchtigkeit von 55% gefunden. Wie Tabelle 4c, gültig für die gesättigte Lösung, zeigt, ist dieser Wert annähernd richtig; doch ist zu beachten, daß hier gerade bei der gesättigten Lösung eine noch stärkere Abhängigkeit von der Temperatur als bei $CaCl_2$ vorhanden ist.

[1] E. Warren W. Ewing, *Journ. Am. Chem. Soc.* ***49***. *S. 1969. 1927.*

[2] Gerlach, *Zeitschr. f. anal. Chem.* ***26***. *S. 503. 1887;* Jones, *Carnegie-Institution.* Washington. 1907.

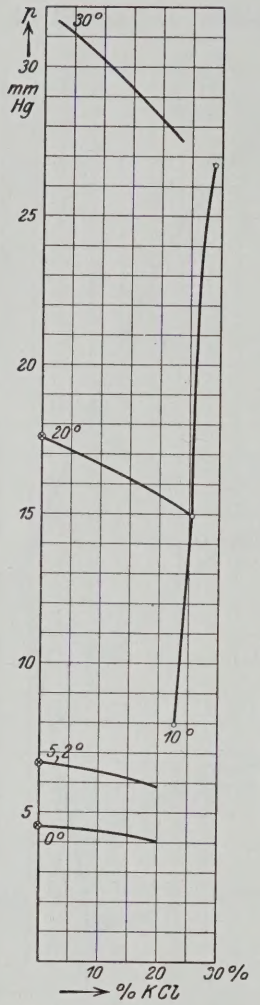



Abb. 7. Dampfdrucke von wäßerigen KCl-Lösungen bei verschiedenen Temperaturen.

Tabelle 4.
$Ca(NO_3)_2$. Dampfdruck in mm Hg.
Abrundung: ± 0,05, teils 0,1 mm Hg.

| $Ca(NO_3)_2$ % | 0° | 10° | 20° | 30° |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 4,58 | 9,21 | 17,54 | 31,83 |
| 10 | 4,45 | 9,05 | 17,25 | 31,15 |
| 20 | 4,35 | 8,75 | 16,60 | 30,00 |
| 30 | 4,15 | 8,25 | 15,45 | 28,15 |
| 40 | 3,70 | 7,30 | 13,60 | 24,70 |
| 50 | — | 5,60 | 11,30 | 20,35 |
| 60 | — | — | — | 15,4 |

Tabelle 4a.
$Ca(NO_3)_2$ Relative Feuchtigkeit auf 1%.

| $Ca(NO_3)_2$ % | 0° | 10° | 20° | 30° |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 10 | 97 | 98 | 98 | 98 |
| 20 | 91 | 95 | 95 | 94 |
| 30 | 81 | 90 | 88 | 88 |
| 40 | — | 79 | 78 | 78 |
| 50 | — | 61 | 64 | 64 |
| 60 | — | — | — | 48 |

Tabelle 4b.
$Ca(NO_3)_2$. Dichte bei 18° in g/cm³.

| $Ca(NO_3)_2$ % | s |
|---|---|
| 0 | 0,999 |
| 10 | 1,075 |
| 20 | 1,163 |
| 30 | 1,265 |
| 40 | 1,370 |
| 50 | 1,485 |
| 60 | 1,610 |

Tabelle 4c. $Ca(NO_3)_2$. Gesättigte Lösung. mm Hg.

| t | Ewing | Obermiller | Ebert | Mittel | Feuchtigkeit % |
|---|---|---|---|---|---|
| 0° | 2,7 | | 2,8 | 2,75 | 60 |
| 10 | 5,2 | | 5,6 | 5,40 | 59 |
| 20 | 9,4 | 9,6 | 9,6 | 9,53 | 54 |
| 30 | 14,9 | | 15,2 | 15,05 | 47 |

KCl: Untersucht sind wäßrige KCl-Lösungen in bezug auf Dampfdruck von Dieterici, Emden und Sidgwick (l. c.) und Lovelac, Fratzer und Sease[1], dazu in gesättigter Lösung von Leopold und Johnston[2] und Obermiller (l. c.). Abb. 7 enthält ebenso, wie Tabelle 5, 5a und 5b[3] wiederum die Zusammenfassung der bisher beobachteten Werte. Für die gesättigten Lösungen sind die Beobachtungen in einer besonderen Tabelle 6 zusammengestellt. Die erste Spalte gibt die Temperatur,

[1] Lovelac, Fratzer und Sease, *Journ. Am. Chem. Soc.* **43**. *S. 102. 1921.*
[2] Leopold und Johnston, ebenda **49**. S. 1974. 1926.
[3] S. Landolt-Börnstein, 5. Aufl. 1923 und Kohlrausch l. c.

die zweite die Anzahl Gramm Salz auf 100 g Lösung, die dritte die Anzahl Mol in 1000 g Wasser, dann die beobachteten Dampfdrucke und die daraus berechneten relativen Feuchtigkeiten. Für etwa $20^0$ stimmt der gefundene Wert von $85{,}2\,^0/_0$ mit dem von Obermiller gefundenen von $86\,^0/_0$ (l. c.) innerhalb der Fehlergrenzen überein.

Tabelle 5.
KCl. Dampfdrucke in mm Hg.
Abrundung: ± 0,05—0,1 mm Hg.

| KCl $^0/_0$ | $0^0$ | $5{,}2^0$ | $20^0$ | $30^0$ |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 4,58 | 6,64 | 17,54 | 31,83 |
| 5 | 4,50 | 6,55 | 17,15 | 31,1 |
| 10 | 4,35 | 6,35 | 16,65 | 30,1 |
| 15 | 4,2 | 6,1 | 16,1 | 29,3 |
| 20 | 4,05 | 5,9 | 15,6 | 28,3 |

Tabelle 5a.
KCl. Relative Feuchtigkeit auf $1\,^0/_0$.

| KCl $^0/_0$ | $0^0$ | $5{,}2^0$ | $20^0$ | $30^0$ |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 5 | 98 | 99 | 98 | 98 |
| 10 | 95 | 96 | 95 | 95 |
| 15 | 92 | 92 | 92 | 92 |
| 20 | 88 | 89 | 89 | 89 |

Tabelle 5b.
KCl. Spezifisches Gewicht bei $18^0$.

| KCl $^0/_0$ | $s$ |
|---|---|
| 0 | 0,9986 |
| 5 | 1,0308 |
| 10 | 1,0638 |
| 15 | 1,0978 |
| 20 | 1,1335 |

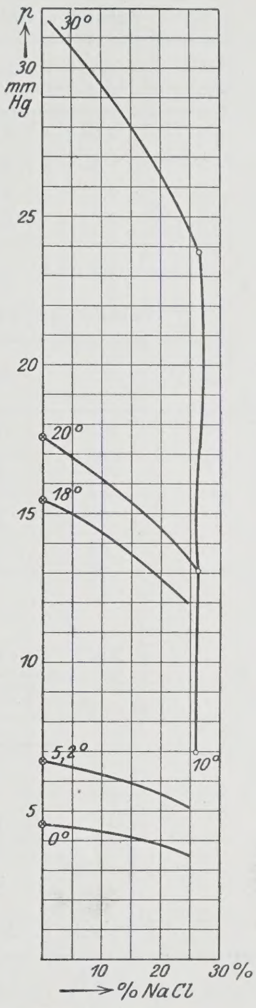



Abb. 8. Dampfdrucke von wäßrigen NaCl-Lösungen bei verschiedenen Temperaturen.

Tabelle 6. Gesättigte KCl-Lösung.

| $t$ | KCl $^0/_0$ | $M$ | $p$ Johnston | $p$ Ebert | Feuchtigkeit in $^0/_0$ Johnston | Feuchtigkeit in $^0/_0$ Ebert |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $10^0$ | 23,6 | 4,150 | 7,97 | — | 86,58 | — |
| 20 | 25,5 | 4,603 | 14,91 | 14,95 | 85,01 | 85,2 |
| 30 | 27,3 | 5,029 | 26,58 | — | 83,53 | — |
| 40 | 28,8 | 5,428 | 45,43 | 45,80 | 82,11 | 82,8 |

**NaCl**: Die Dampfdruckwerte für wäßrige NaCl-Lösungen sind ähnlich behandelt, wie bei KCl. Sie sind zusammengestellt in Abb. 8 und den Tabellen 7, 7a, 7b. Die letztere ist dem Lehrbuch von Kohlrausch entnommen, die im wesentlichen mit den Werten von Bousfield[1] übereinstimmen. In Tabelle 8 sind wiederum die Werte für

[1] Bousfield, *Proc. Roy. Soc. (Ser. A)* **103**. *S. 429. 1923.*

die gesättigte Lösung aufgenommen unter Hinzuziehung der von Leopold und Johnston gefundenen. Obermiller (l. c.) gibt für die gesättigte Lösung bei 20° eine relative Feuchtigkeit von 75% an, ein Wert, der durch Tabelle 8 bestätigt wird.

Tabelle 7. NaCl. Dampfdruck in mm Hg.

| NaCl % | 0° | 5,2° | 18° | 20° | 30° |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 4,58 | 6,64 | 15,48 | 17,54 | 31,82 |
| 5 | 4,4 | 6,5 | 15,0 | 17,0 | 30,7 |
| 10 | 4,3 | 6,2 | 14,4 | 16,3 | 29,5 |
| 15 | 4,2 | 5,9 | 13,7 | 15,5 | 28,2 |
| 20 | 3,8 | 5,6 | 12,9 | 14,5 | 26,4 |
| 25 | 3,5 | 5,1 | 12,0 | 13,4 | 24,6 |

Tabelle 7a. NaCl. Relative Feuchtigkeit.

| NaCl % | 0° | 5,2° | 18° | 20° | 30° |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 5 | 96 | 97 | 97 | 97 | 96 |
| 10 | 94 | 93 | 93 | 93 | 93 |
| 15 | 90 | 89 | 89 | 89 | 89 |
| 20 | 84 | 84 | 83 | 83 | 83 |
| 25 | 76 | 77 | 77 | 76 | 77 |

Tabelle 7b.
NaCl. Spezifisches Gewicht bei 18°.

| NaCl % | $s$ |
|---|---|
| 0 | 0,999 |
| 5 | 1,035 |
| 10 | 1,071 |
| 15 | 1,109 |
| 20 | 1,149 |

Tabelle 8. NaCl. Gesättigte Lösung.

| $t$ | NaCl % | $M$ | $p$ | rel. Feuchtigkeit % |
|---|---|---|---|---|
| 10° | 26,4 | 6,103 | 6,95 | 75,3 |
| 20 | 26,4 | 6,128 | 13,15 | 75,1 |
| 30 | 26,5 | 6,168 | 23,90 | 75,0 |
| 40 | 26,6 | 6,217 | 41,35 | 74,7 |

$PHO_3$: Die Phosphorsäure ist nur in gesättigtem Zustande untersucht. Auch hier wurde der Obermillersche Wert von 10% relativer Feuchtigkeit bei 20° bestätigt, so daß bei dieser Temperatur die Phosphorsäure im gesättigten Zustande einen Dampfdruck von 1,75 mm Hg hat.

Wenn man also zum Einstellen relativer Feuchtigkeiten gesättigte Lösungen von bestimmten Salzen nimmt, so ergibt sich die Annehmlichkeit, daß betreffs der Konzentration keine besondere Wartung nötig ist, solange nur genügend Bodenkörper vorhanden sind; indes zeigen die Tabellen 3a, 4c und 6, daß bei einigen gesättigten Lösungen Temperaturschwankungen schon merkliche Druckänderungen zur Folge haben können.

Sämtliche oben aufgeführten Dampfdruckwerte sind für $t = 20°$ außerdem in Abb. 9 wiedergegeben, wobei als Abszisse das spezifische Gewicht gewählt wurde. Außer den Dampfdrucken sind auf der Ordinatenachse zugleich die entsprechenden Werte der relativen Feuchtigkeit in Prozent angeschrieben. Es ergibt sich, daß die Dampfdruckkurven der einzelnen wäßrigen Lösungen in der Reihenfolge der Molekulargewichte der gelösten Stoffe liegen.

Es ist versucht worden, die Dampfdruckwerte der obigen Tabellen, getrennt nach den einzelnen Salzen oder Säuren, in einer Dampfdruckkurve darzustellen. Diese lautet allgemein $p = f(T)$.

Durch Integration der Clausius-Clapeyronschen Gleichung unter bestimmten Annahmen über die Temperaturabhängigkeit der Verdampfungswärme und der Sättigungsvolumina (das der Flüssigkeit wird gegen das des Dampfes meistens vernachlässigt) erhält man verschiedene Formeln.

Setzt man z. B. das ideale Gasgesetz voraus und nimmt innerhalb eines beschränkten Temperaturbereiches die Verdampfungswärme $L$ unabhängig von der Temperatur an, so ergibt sich die Rankinesche Formel:

$$\lg p = -\frac{L}{RT} + b, \qquad 2a)$$

wo $b$ eine Integrationskonstante ist. In Anlehnung hieran wird versucht (August), die Beobachtungsergebnisse darzustellen durch eine Gleichung mit zwei Konstanten, die bei Benutzung der Briggsschen Logarithmen lautet:

$$\lg p = -\frac{a}{T} + b. \qquad 2b)$$

Trägt man graphisch im logarithmischen System die gefundenen Dampfdruckwerte der Lösungen als Funktion von $1/T$ auf, so ergeben sich innerhalb des Temperaturbereiches von 273 bis 303° abs. gerade Linien als Kurven konstanter Konzentration. Die numerische Rechnung aber zeigt, daß die mit einer solchen Formel errechneten Dampfdruckwerte nicht immer innerhalb der Meßgenauigkeit mit den Beobachtungen übereinstimmen.

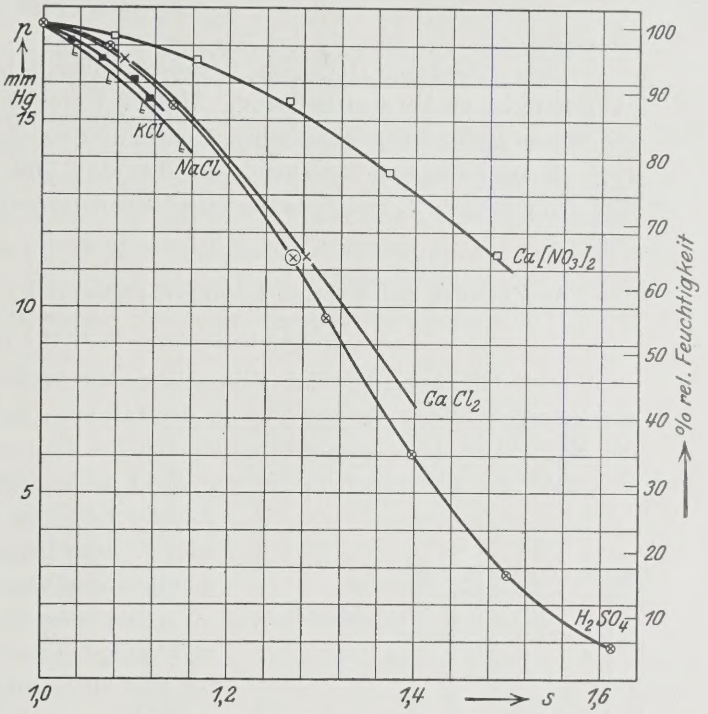



Abb. 9. Dampfdrücke verschiedener wäßriger Lösungen bei 20° in Abhängigkeit von der Dichte.

Bemerkenswert ist die Abhängigkeit der Größe $a$ von der Konzentration; es ergibt sich im allgemeinen das Bild, daß bei Stoffen, die sich unter Wärmeentwicklung im Wasser lösen, $a$ nach anfänglichen geringen Schwankungen mit wachsender Konzentration steigt ($H_2SO_4$ und $CaCl_2$), während es bei Stoffen, die sich unter Abkühlung lösen, fällt ($(CaNO_3)_2$). Immerhin eignet sich schon diese Formel für eine Überschlagsrechnung.

Nimmt man an, $L$, die Verdampfungswärme, sei eine quadratische Funktion von $T$, so ergibt sich eine Gleichung, die man mit empirischen Konstanten schreiben kann:

$$\lg p = -\frac{a}{T} + b \cdot \lg T + c \cdot T + d. \qquad 3a)$$

Da für Wasser genügend Beobachtungen für die Verdampfungswärme und die spezifische Wärme vorliegen, kann für Wasser eine numerische Gleichung[1] aufgestellt werden, die mit der Erfahrung recht gut übereinstimmt:

$$\lg p_g = -\frac{11325}{4{,}571 \cdot T} + \frac{Cp_0}{1{,}986} \cdot \lg T - \frac{\psi_{\text{kond}}}{4{,}571} - 1{,}937. \qquad 3b)$$

[1] Müller-Pouillet, Lehrbuch der Physik III, *1. 1926. S. 484.*

$\psi_{\mathrm{kond}}$ ist ein Integral des Wärmeinhaltes für das Kondensat und kann für Wasser aus Tabellen von K. Miething (Halle, 1920) entnommen werden. $C_{p_0}$ ist der temperaturunabhängige Anteil der Molwärme des Dampfes und hat den Wert 7,94. Die Größe $p_g$ ist der Dampfdruck, gerechnet in physikalischen Atmosphären.

Der Gleichung 3b) analog ist unter Beibehaltung der Integrationskonstanten 1,937, die der chemischen Konstanten des Wassers entspricht, die empirische Gleichung angesetzt

$$\lg p_g = -\frac{a}{T} + b \cdot \lg T - c \cdot T - 1{,}937. \qquad 3c)$$

Diese Gleichung stellt die gefundenen Werte befriedigend dar, solange die Lösungen nicht zu konzentriert sind. Alsdann ist es eben nicht mehr zulässig, mit der für Wasser gefundenen chemischen Konstanten zu rechnen.

Es sei noch eine Beziehung von Ramsay und Young[1] erwähnt, nach der die Siedetemperaturen $T_1$ und $T_2$ zweier verschiedenen Substanzen folgende Gleichung erfüllen:

$$\lg T_2 = a \cdot \lg T_1 - b\,. \qquad 4a)$$

Angewendet auf wäßrige Lösungen ergibt sich:

$$\lg T_{(\text{wäßrige Lösung})} = a \cdot \lg T_{H_2O} - b. \qquad 4b)$$

Diese Gleichung bewährt sich, solange die Lösung sehr verdünnt ist. Der Grund des Versagens dieser Formel liegt in der Tatsache, daß bei den kleinen Dampfdrucken die Möglichkeit einer genauen Bestimmung des $T_{H_2O}$ nicht mehr besteht, da unterhalb $T = 258^0$ abs. die Siedetemperaturen nicht mehr festgelegt sind. Für hygrometrische Zwecke sollte es zur Zeit genügen, mit Formel 2) oder 4) unter Berücksichtigung der gemachten Einschränkungen auszukommen.

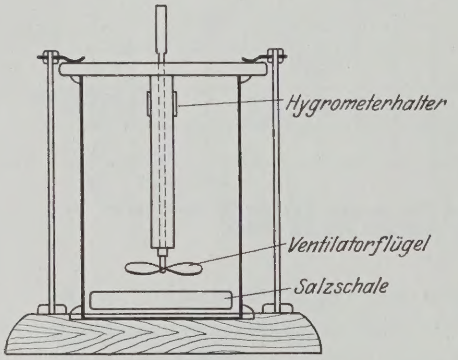



Abb. 10. Obermillersches Prüfgefäß für Haarhygrometer.

Die beobachteten Dampfdruckwerte für $H_2SO_4$- und $CaCl_2$-Lösungen von relativer Feuchtigkeit von 65 und 80% sind der „Unterkommission für die Aufstellung von Prüfmethoden hinsichtlich Feuchtigkeit" der Kommission für Isolierstoffe zur Verfügung gestellt. Diese Werte sind bei der Aufstellung für die Erzeugung bestimmter Luftfeuchtigkeiten zur Prüfung elektrischer Isolierstoffe (*Elektrot. Zeitschr.* ***50***, *S. 946. 1929*) verwendet worden. Überdies sollten die Dampfdruckwerte ganz allgemein Material dafür bieten, mittels verdünnter Lösungen bestimmte relative Feuchtigkeiten herzustellen.

Obermiller[2] hat nicht nur, wie oben bereits angeführt, Messungen, vornehmlich an gesättigten Salzlösungen, vorgenommen, sondern auch einen Weg beschrieben, wie solche Dampfdruckwerte für die Eichung oder Nachprüfung von Haarhygrometern verwendet werden können. Er lehnt sich eng an die Ausführungen von de Saussure[3] an. Das nachzuprüfende Haarhygrometer wird in eine gläserne Glocke (Abb. 10) gehängt. Am Boden dieses Apparates befindet sich eine Schale, die zur Aufnahme bestimmter Salzlösungen dient. Je nach Wahl des Salzes können verschiedene Feuchtigkeiten eingestellt und die Stellungen des Hygrometerzeigers festgelegt werden, wodurch die Prüfung der Angaben eines Haarhygrometers ermöglicht ist. Da für einen einigermaßen

[1] *Phil. Mag. (5)* ***20****. S. 505—515. 1885;* ***21****. S. 33. 135. 1886;* ***22****. S. 32. 1886.*

[2] *Zeitschr. f. physikal. Chem.* ***109****. S 145. 1924; Kunstseide, 1926.*

[3] Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften, Bd. 115 u. 119.

schnellen Ausgleich das Prüfgefäß selbst nicht gar zu groß ausfallen soll, kann im Obermillerschen Apparat jeweilig nur ein Instrument geprüft werden. Es ist von Obermiller vorgeschlagen, dieses als sekundäres Normal zu benutzen und mit ihm nötigenfalls eine größere Anzahl Haarhygrometer zu vergleichen, wobei dann insbesondere wegen etwa vorhandener Schichtungen der Feuchtigkeit besondere Vorsicht geboten ist. Es sei ferner an die bereits oben erwähnte Tatsache erinnert, daß bei Verwendung gesättigter Lösungen auf konstante Temperatur geachtet werden muß. Deshalb empfiehlt sich die Verwendung besonderer Wärmeschutzhüllen[1].

Bongards[2] hat eine andere Art der Prüfmöglichkeit gewählt, bei der jedesmal die Feuchtigkeit besonders nach dem Prinzip des Aspirations-Psychrometers bestimmt werden kann. Als Erzeuger der verschiedenen Feuchtigkeiten werden Lösungen von Salzen oder Schwefelsäure genommen. Bongards beschreibt seinen Apparat wie folgt:

„Der Prüfraum *R* (Abb. 11) besteht aus einem Gefäß mit Metallwänden und einem Glasfenster. Auf einen breiten Rand ist ein luftdicht schließender Deckel aufgeschliffen (bei einem größeren Gefäß ist das Glasfenster abnehmbar eingerichtet). An zwei Stellen des Prüfraumes münden Rohransätze von etwo 10 mm lichter Weite in den Kasten, die der Luftzufuhr und -ableitung dienen. Die eine dieser Rohrleitungen steht in Verbindung mit dem Saugstutzen eines Kapselgebläses *K*, das von einem Elektromotor betrieben wird. Die Druckleitung des Gebläses führt zu einem Glasgefäß *a*, das die Regelflüssigkeit enthält. Dieses Gefäß besteht aus einem 40 cm hohen Standzylinder mit abgeschliffenem Rand und aufgeschliffenem Deckel, der mit federnden Bügeln angepreßt wird. Der Deckel trägt einen Hals mit dreifach durchbohrtem Gummipfropfen. Eine Rohrleitung vom Prüfraum führt durch eine der Bohrungen in das Innere und endet dicht vor dem Pfropfen. Durch die zweite Bohrung ist in der Achse des Glaszylinders ein Rohr *r* nach unten geführt, das sich dicht über dem Boden in sechs sternförmig angeordnete Abzweigrohre teilt, die an ihrer Oberfläche durch feine Löcher mit dem Innern des Glaszylinders in Verbindung steht. An das zentrale Glasrohr wird die Druckleitung des Gebläses angeschlossen. Durch die dritte Bohrung führt das Rohr eines Stockthermometers *t*, dessen Gefäß sich etwa in der halben Höhe des Glaszylinders befindet. Es entsteht so ein nach außen vollkommen abgeschlossener Raum, in dem bei Ingangsetzen des Gebläses die Luft einen Kreislauf durch den Prüfraum, das Gebläse, in den Glaszylinder und wieder in den Prüfraum vollführt. Der Glaszylinder wird mit einer Mischung von destilliertem Wasser und reiner Schwefelsäure gefüllt, deren spezifisches Gewicht an einem in der Flüssigkeit schwimmenden Normalaräometer von außen ablesbar ist.

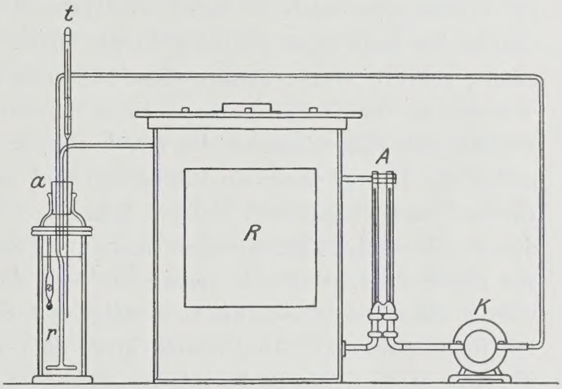


Abb. 11. Bongardssche Prüfeinrichtung für Feuchtigkeitsmesser.

[1] Die Firma R. Fueß in Berlin-Steglitz hat für diese Versuche Haarhygrometer, Taupunktmesser und Obermillersches Haarhygrometer-Prüfgefäß freundlichst zur Verfügung gestellt; es sei ihr hierfür auch an dieser Stelle verbindlichst gedankt.

[2] Bongards, Feuchtigkeitsmessung *S. 255.* München-Berlin 1926. R. Oldenburg; *Meßtechnik 5. S. 153. 1929.*

Setzt man das Gebläse in Tätigkeit, so wird die Luft aus dem Gebläse durch die Rohrleitung in das Gefäß mit der Schwefelsäure-Wasser-Mischung gedrückt und tritt durch die feinen Öffnungen der sternförmig vom Mittelrohr *r* ausgehenden Abzweigrohre in die Flüssigkeit, in der sie in kleinen Blasen emporsteigt. Auf diesem Wege bekommt sie die gleiche Dampfspannung, wie sie der Konzentration der Lösung entspricht. Verwendet man zur Füllung des Gefäßes an Stelle der Schwefelsäure-Wasser-Mischung destilliertes Wasser, so erhält man in dem Prüfraum mit Feuchtigkeit nahezu vollkommen gesättigte Luft."

Für den von der Reichsanstalt erworbenen Apparat sind in der Anstalt selbst besondere Versuche durchgeführt. Zunächst mußte festgestellt werden, inwieweit die als Feuchtigkeitsmesser eingebauten Thermometer (Psychrometer) wirklich die Feuchtigkeit im Prüfraum selber genau anzeigen. Zu diesem Zwecke wurde im Prüfraum ein Dufourscher Taupunktsmesser eingebaut. Dabei zeigte es sich, daß die von den beiden Psychrometer-Thermometern angezeigte Feuchtigkeit zu niedrig war. Durch ein Vergleichen im Laboratoriumsraum ergab sich, daß der Taupunktsmesser gegen ein Aßmannsches Aspirations-Psychrometer um etwa 1 bis 2% zu hoch zeigte. Durch Einbau eines Thermoelementes in den Taupunktsmesser in der Weise, daß der Kupferblock, auf dem die Wasserhaut entsteht, selber die Haupt-Lötstelle bildete und ein Konstantandraht durch eine ganz feine Bohrung in die Mitte, unmittelbar unter die abzukühlende Oberfläche, geführt wurde, konnte diese Differenz auf etwa 1% und weniger herabgedrückt werden; es besteht also eine geringe Tendenz für den Taupunktsmesser, eine höhere Feuchtigkeit anzuzeigen, als das Psychrometer. Die Differenz aber zwischen dem Psychrometer der Bongardsschen Prüfanlage und dem Taupunktsmesser betrug 4 und mehr Prozent und vergrößerte sich, je höher die relative Feuchtigkeit wurde. Der Einbau der Psychrometer-Thermometer, soweit er zur Leitung des Luftstromes dient, wurde gut abgedichtet. Dadurch verringerte sich die Differenz, so daß der Eindruck erweckt wurde, als würde durch die Undichtigkeit Luft aus dem Laboratoriumsraum angesaugt. Da dann trotz der Abdichtung noch eine Differenz übrigblieb, wurde das feuchte Thermometer an die Stelle des trockenen, also näher zum Prüfraum, gesetzt und die für die Feuchtigkeitsbestimmung notwendige Temperatur des trockenen Thermometers im Innern des Prüfraumes bestimmt. Bei dieser Anordnung zeigte sich gute Übereinstimmung der Angaben zwischen Psychrometer und Taupunktsmesser. Daher wird die Feuchtigkeitsprüfanlage der Reichsanstalt in dieser Weise benutzt werden.

Gemäß Vorschlag von Bongards wurden drei Regelgefäße hergerichtet, von denen das eine mit destilliertem Wasser, die beiden anderen mit einer Schwefelsäure-Wasser-Mischung gefüllt sind. Aus der Bestimmung der Dichte ließ sich die relative Feuchtigkeit einigermaßen vorher bestimmen. In der folgenden Tabelle steht in der ersten Spalte die so bestimmte Feuchtigkeit, in der zweiten die mit dem Taupunktsmesser und in der dritten die mit dem Psychrometer der Feuchtigkeitsanlagen gemessene relative Feuchtigkeit.

Tabelle 9. Messung der relativen Feuchtigkeit in der Bongardsschen Prüfanlage.

| Aus der Dichte der Lösung | Taupunkts-Messung | Psychrometer-Messung |
|---|---|---|
| 28— 29% | 27% | 28% |
| 60— 62 | 63—62% | 61—62 |
| 95—100 | 96—97 | 95 |

In beiden Prüfanlagen — von Bongards und Obermiller — sind zwei Haarhygrometer — Nr. 14 und Nr. 15 — geprüft. Während beim Bongardsschen Apparat verdünnte Schwefelsäure von der Dichte 1,280 und 1,428 g/cm³ verwendet wurden, sind

im Obermillerschen Apparat die gesättigten Salzlösungen: $Ca(NO_3)_2$ — das entspricht 55% relativer Feuchtigkeit — und $CaCl_2$ — 35% relativer Feuchtigkeit bei etwa 20° — benutzt. Die auf beide Weisen gefundenen Korrektionen sind in nachfolgender Tabelle 10 aufgeführt.

Tabelle 10.

| Relative Feuchtigkeit in % | Korrektionen in %, gefunden in den Apparaten | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Bongards für Nr. 14 | Obermiller für Nr. 14 | Bongards für Nr. 15 | Obermiller für Nr. 15 |
| 60 | — 2 | — | 0 | — |
| 55 | — | — 2 | — | — 4 |
| 35 | — | — 2 | — | — 2 |
| 30 | — 5 | — | — 4 | — |

Diese Haarhygrometer sind vor der Prüfung einige Zeit, wie es im wesentlichen bereits de Saussure vorgeschlagen hat, in einem Raum sehr hoher Feuchtigkeit gewesen. Der Haarstrang der Hygrometer war der bekannten Vorbehandlung — der Vorquellung — unterzogen. Es wird beobachtet, ob beim Verweilen in einem mit Wasser getränkten Raume der Zeiger des Haarhygrometers auf 95—97% einspielt. Geschieht dies nicht, so wird zwangsläufig, mit Hilfe der Einstellschraube, diese Stellung des Zeigers herbeigeführt. Zeigt es sich dann, daß der Zeiger weiter seine Stellung ändert, z. B. nach größerer relativer Feuchtigkeit, so ist anzunehmen, daß das Haar nicht richtig vorbehandelt wurde. Es scheint notwendig, gerade diese Vorquellung richtig abzupassen, damit das Haar in einem solchen Zustand verwendet wird, in dem es eine begrenzte Quellfähigkeit besitzt. Es gibt auch Haare, die sich nach Richtung größerer Trockenheit ändern; von solchen „rückgängigen Haaren“ zeigte de Saussure, daß sie durch zu starke Belastung nicht mehr fähig sind, als Feuchtigkeit anzeigende Mittel zu dienen. Hat sich herausgestellt, daß beide Fehler nicht auftreten, so wird das Haarhygrometer einer weiteren Prüfung daraufhin unterzogen, ob die am Instrument angebrachte Skale für das Haar richtig ist, d. h. ob das Instrument mit der vorhandenen Skale die relative Feuchtigkeit richtig anzeigt. Zu diesem Zweck kann sowohl die Bongardssche wie die Obermillersche Prüfanlage dienen. Erst nach dieser Untersuchung wird die Zuverlässigkeit eines Haarhygrometers zu unterscheiden sein.

Ist ein Haarhygrometer lange im Gebrauch gewesen — besonders in großer Trockenheit, — so empfiehlt sich ein Erneuern der Quellfähigkeit des Haares dadurch, daß es — im Gegensatz zur Obermillerschen Auffassung — zuerst einige Zeit in hoher Feuchtigkeit gelassen und nötigenfalls in diesem Zustand nachgestellt wird. Es ist dann an weiteren Punkten anderer relativer Feuchtigkeit nachzuprüfen, ob das Instrument den Anforderungen zur Feuchtigkeitsmessung genügt[1].

In Zukunft werden bei der Prüfung von Haarhygrometern in der Reichsanstalt diese Gesichtspunkte berücksichtigt.

[1] Bongards, Feuchtigkeitsmessung *S. 252 ff.*

# Über die Entwicklung der astronomischen Instrumente im Zeisswerke Jena.

Von
Oberingenieur **Fr. Meyer** in Jena.

## I. Die Montierungen.

Erst wenig mehr als ein Jahrhundert ist verflossen, seit der große Optiker und Mechaniker Fraunhofer, nachdem ihm die Herstellung größerer Objektive, die er aus selbstgeschmolzenen Kron- und Flintgläsern zusammensetzte, gelungen war, sich die schwierige Aufgabe stellte, Instrumente zu entwerfen und zu bauen, die es ermöglichten, diese allem auf diesem Gebiete vorausgegangenen ungeheuer weit überlegenen Wunder zu tragen, zu führen und auszunützen. Es entstand der erste große parallaktisch montierte Refraktor, der sich unter dem Namen „Deutsche Montierung" überall in der Welt durchsetzte und bahnbrechend wirkte.

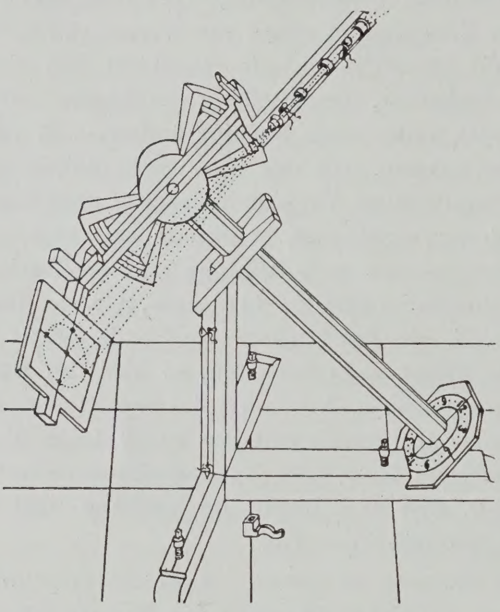


Abb. 1. Aequatoreal von Pater Grienberger. Vorläufer der Deutschen Montierung.

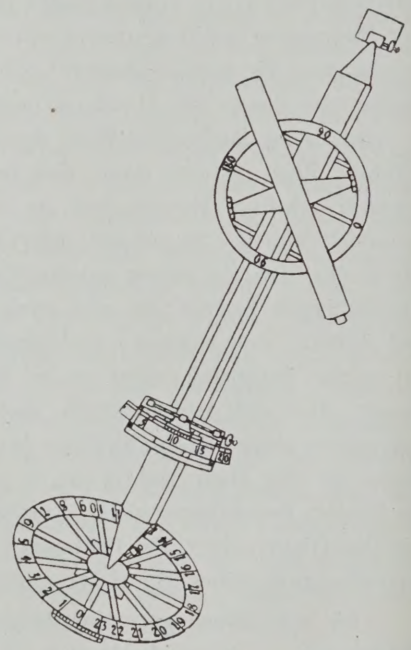


Abb. 2. Aequatoreal von Sisson. Vorläufer der englischen Montierung.

Der Grundgedanke, ein Fernrohr zwecks bequemerer Beobachtungsmöglichkeit auf zwei Achsen zu montieren, von denen die erste, die Stundenachse, parallel zur Erdachse angeordnet, während die zweite, die Deklinationsachse, senkrecht auf die erste montiert ist, ist allerdings schon erheblich älteren Datums. Schon um 1618 hat ein Mathematiker am Collegium Romanum, der Pater Grienberger, ein solches Instrument (Abb. 1) konstruiert, und es ist dieser daher wohl als der Vater dieses Gedankens anzusprechen. Später, um 1700, hat dann auch der Engländer Sisson ein Äquatorial (Abb. 2) konstruiert, das sich von dem Pater Grienbergerschen dadurch unterschied, daß die Stundenachse an ihren beiden Enden unterstützt und die Deklinationsachse in der Mitte der ersteren angeordnet wurde, während Grienberger die erste Achse über die obere Lagerung hinaus verlängerte, und die zweite Achse am oberen Ende derselben anordnete. Die Sissonsche Anordnung ist als englische Montierung allgemein bekannt geworden.

Eine dritte Aufstellungsart, die Gabelmontierung, ist erst sehr viel später entstanden und wurde von den Amerikanern verschiedentlich für ihre Reflektoren (Abb. 8, S. 61) angewendet. Sie lehnt sich an die deutsche Montierung an und unterscheidet sich von dieser dadurch, daß eine auf das Ende der Haupt- bzw. Stundenachse aufmontierte Gabel in ihrem Innern den Reflektor usw. vermittelst zweier kurzer Zapfen, die die Deklinationsachse ersetzen, trägt. Diese Anordnung hat sich aber nicht allgemein durchsetzen können, und es sind nur eine geringe Anzahl von Ausführungen bekannt geworden. Die Amerikaner sind bei ihren neueren großen Spiegelmontierungen zur englischen Montierung zurückgekehrt.

Vor Fraunhofers Zeiten hat man sich im allgemeinen auf reine Meßinstrumente, die azimutal aufgestellt waren, beschränkt. Mit ihnen wurden die Sternorte festgestellt (Meridiankreise) oder die Zeiten bestimmt (Passageninstrumente). Auch die ersten

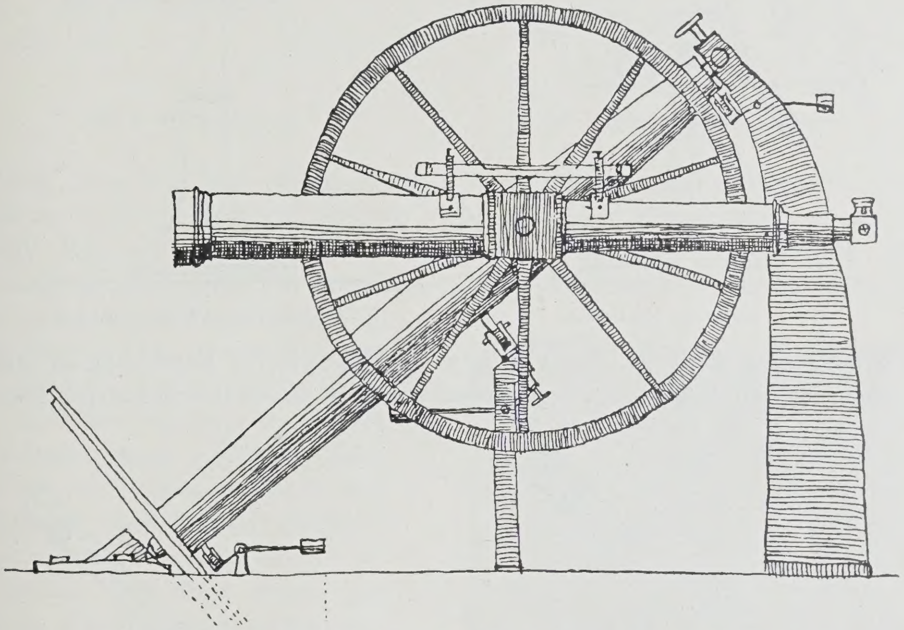


Abb. 3. Aequatoreal von Reichenbach für Sternwarte Neapel. Englische Montierung. Eigenhändige Skizze von Reichenbach.

kleineren parallaktisch aufgestellten Instrumente (Äquatoreale) wurden mit großen Kreisen ausgerüstet und dienten demselben Zweck. Unter anderen hat Reichenbach einige derartige Äquatoreale in englischer Montierung (Abb. 3) gebaut. Erst Fraunhofer hat, wie schon erwähnt, durch seine großen, vorzüglich abbildenden Objektive die Möglichkeit geschaffen, stärkere Vergrößerungen anzuwenden und damit einen außerordentlich großen Schritt in der Erkenntnis der Sternenwelt vorwärts getan. Sehr bald trat dann bei ihm der Wunsch auf, das bei starken Vergrößerungen lästige und schwierige Bewegen des Instrumentes mit der Hand, um dem scheinbar sich fortbewegenden Stern nachzufolgen, zu erleichtern. Die Anwendung der parallaktischen Aufstellung, die es ermöglichte, das Instrument nach der Einstellung nur durch Drehen um eine Achse, die Stundenachse. dem Sterne folgen zu lassen, war ja schon eine große Erleichterung gegenüber der azimutalen Aufstellung. Es war aber immer noch schwierig, den Stern, besonders bei starken Vergrößerungen, bei denen er sich sehr schnell bewegt, im Gesichtsfeld zu halten. Fraunhofer überlegte daher die Möglichkeit, das Instrument automatisch so zu bewegen, daß der Stern ständig im Gesichtsfeld des Fernrohres

blieb, und konstruierte das erste automatische Uhrwerk. Jahrzehntelang hat sich diese Konstruktion, die an anderer Stelle beschrieben werden soll, erhalten, und erst die erhebliche Vergrößerung der Montierungen zwang später zu anderen Maßnahmen bzw. Konstruktionen.

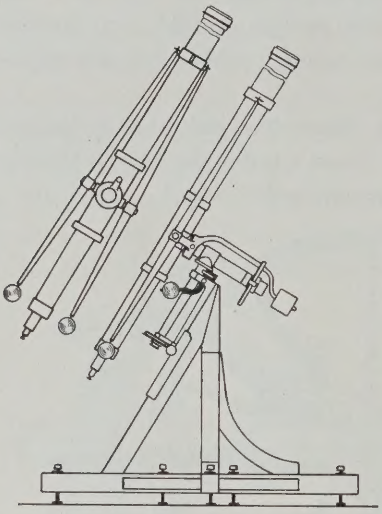


Abb. 4. Fraunhofer Montierung.

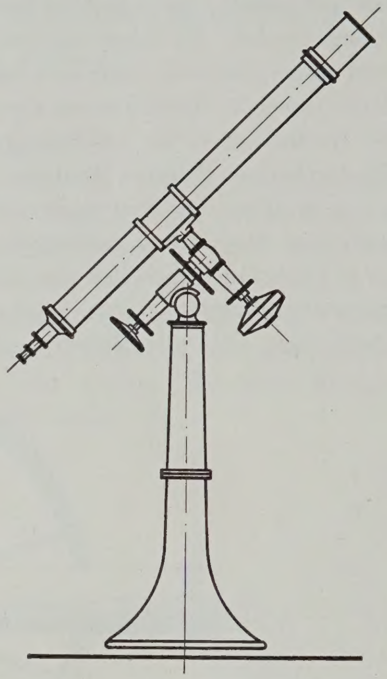


Abb. 5. Deutsche Montierung. Zeiss.

Ein Mangel haftete bei allen Vorzügen der Fraunhofer-Montierung an (Abb. 4), und zwar fehlt die Möglichkeit, in größeren Polhöhen einem Himmelskörper über den

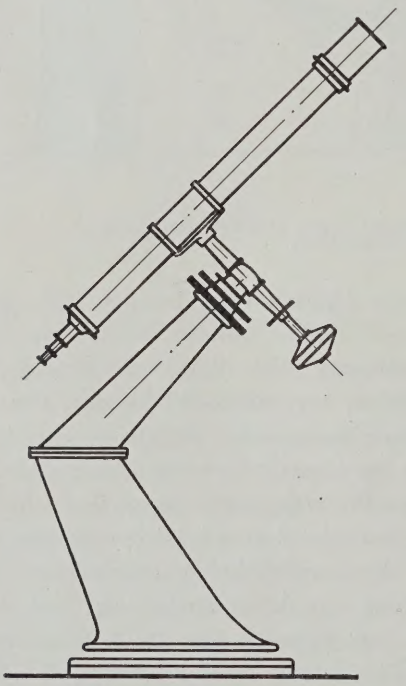


Abb. 6. Astrograph von Repsold.

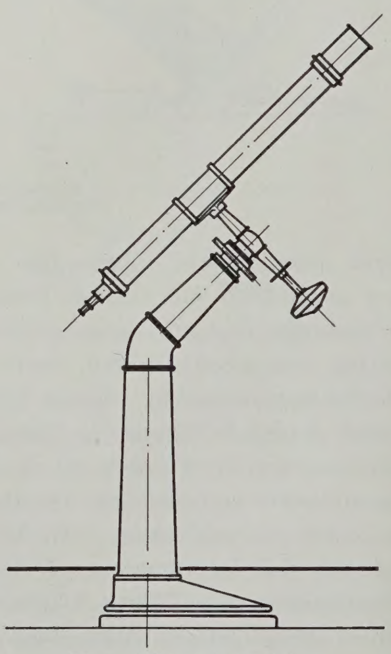


Abb. 7. Astrograph von Zeiss.

Meridian hinaus zu folgen, da das Okularende des Fernrohres dann am Unterbau des Achsensystems anstößt. Man muß das Fernrohr in diesem Falle umlegen. Dieses

geschieht durch Verdrehung der Stundenachse um 180$^0$ und Neueinstellung des Fernrohres in Deklination. Alsdann können die Beobachtungen ohne weitere Störungen fortgesetzt werden. Dieser Mangel ist bei rein visuellen Beobachtungen sehr wohl erträglich. Man hat jedoch trotzdem immer wieder versucht, ihn zu beseitigen. Merz,

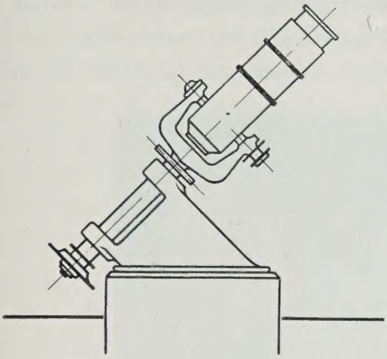


Abb. 8. Gabelmontierung.

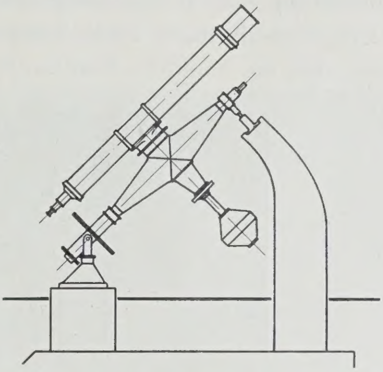


Abb. 9. Englische Achsenmontierung.

Repsold, Zeiss u. a. (Abb. 5) haben durch Verwendung verhältnismäßig dünner Säulen anstatt des größeren Fraunhoferschen Unterbaus diesen Mangel gemildert, aber nicht beseitigt. Man hatte sich lange damit abgefunden, und erst die Einführung der Photographie in die Astronomie ließ den Wunsch nach unbeschränkter Bewegung des Fernrohres neu aufleben. Es entstand darauf die Repsoldsche Kniemontierung (Abb. 6 und 11), bei welcher die Lagerung der Stundenachse in Gestalt einer schrägen Säule in Richtung nach Süden so weit verlängert wurde, daß das Fernrohr, nach dem Pol gerichtet, frei um die Stundenachse gedreht werden konnte. Das Ende dieses verlängerten und selbstverständlich entsprechend verstärkten Stundenlagers

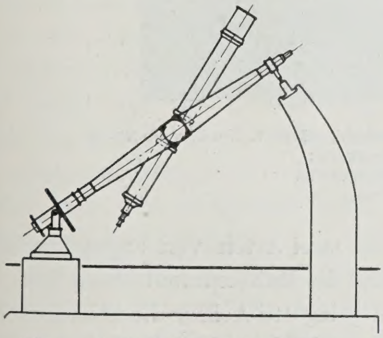


Abb. 10. Englische Rahmenmontierung.

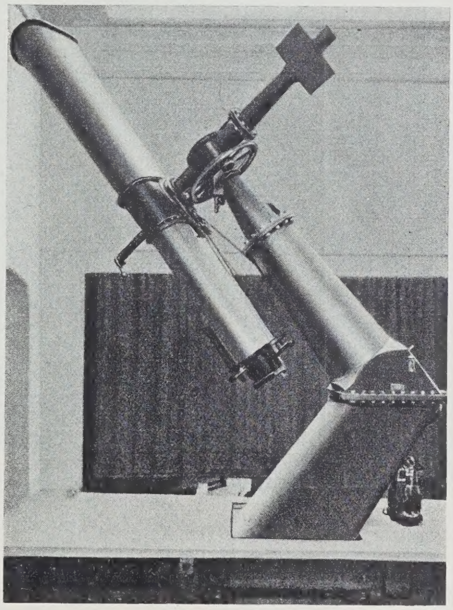


Abb. 11. Normal Astrograph von Repsold, Astro-physik. Observatorium Potsdam. Visuell: 20 cm Öffnung, 3,4 m Brennweite; photogr.: 34 cm Öffnung, 3,4 m Brennweite.

hat Repsold dann fest mit einem schweren wieder nach Norden ausladenden, schrägen Untersatz verbunden und dadurch die nötige Standfestigkeit erhalten.

Bei späteren Ausführungen, z. B. durch die Firma Carl Zeiss, wird das verlängerte Stundenachsenlager auf eine vertikale Säule geschraubt, die wieder auf einem

unter dem Fußboden des Beobachtungsraumes angeordneten schweren dreieckigen, zur Erzielung der nötigen Stabilität weit nach Norden ausladenden Fuß montiert ist. Diese letzte Konstruktion (Abb. 7 und 12) hat vor der Repsoldschen den Vorzug der erheblich freieren Bewegungsmöglichkeit im Beobachtungsraum, was besonders bei der Anwendung von Beobachtungsleitern nicht hoch genug eingeschätzt werden kann.

Der Wunsch nach unbeschränkter Bewegungsfreiheit hat sehr stark dazu beigetragen, daß die englische Montierung eine größere Anwendung fand, da sie die freie

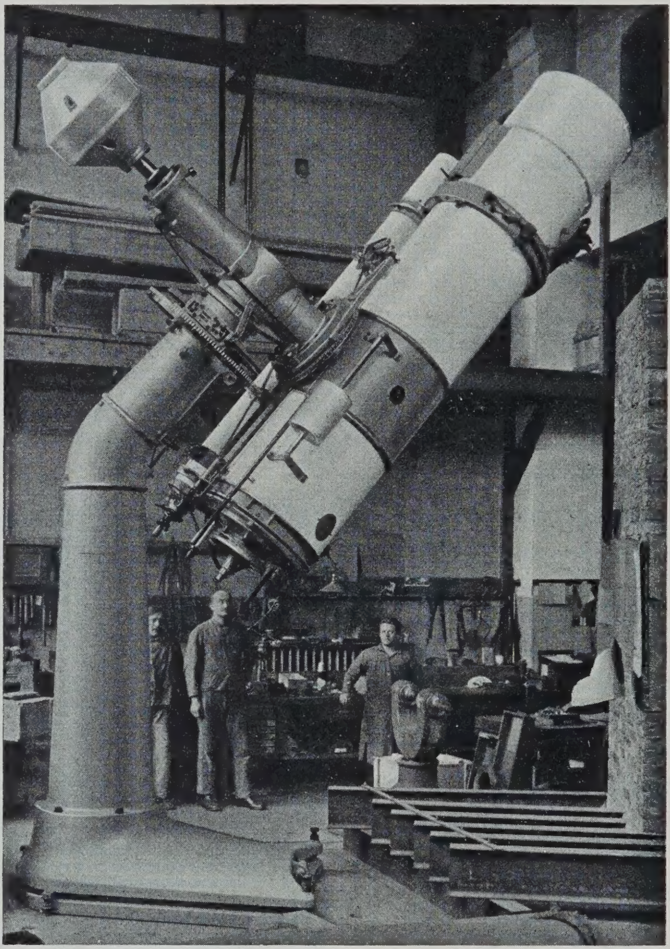


Abb. 12. Reflektor der Sternwarte Stara-Dala, Tschechoslowakei, früher v. Konkoly Sternwarte
Spiegel: 60 cm Öffnung, 3 m Brennweite;
visuell: 18 cm Öffnung, 2,7 m Brennweite.
Zeiss-Astrographen-Montierung.

Bewegung im Meridian gestattet. Man unterscheidet zwei Arten von englischen Montierungen, und zwar die Achsenmontierung (Abb. 9) und die Rahmenmontierung (Abb. 10). Bei der ersteren trägt eine starke, an beiden Enden gelagerte Achse, die Stundenachse, in ihrer Mitte die Deklinationsachse, an deren einem Ende, wie bei der deutschen Montierung, das Fernrohr angebaut ist, während das andere Ende ein Gegengewicht trägt. Bei der Rahmenmontierung wird das Fernrohr in einen länglichen Rahmen montiert, in welchem es in der Mitte in zwei Zapfen gelagert ist, die der Deklinationsachse entsprechen. Der Rahmen selbst wird wieder in zwei Zapfen getragen, die, oben und unten angeordnet, in Richtung parallel zur Erdachse entsprechend der Polarachse

durch zwei feste Lager gestützt werden. Will man ganz unbeschränkte Bewegungsfreiheit erzielen, so ist es bei der Achsenmontierung nötig, die Stundenachse so lang anzuordnen, daß ihre Lager und deren Unterstützungspfeiler so weit auseinander gebracht werden, daß das Fernrohr bei Drehung um die Stundenachse in Polstellung nicht an die Pfeiler anstößt. Außerdem muß bei größeren Polhöhen der Nordpfeiler sehr hoch und daher sehr stabil ausgeführt werden. Bei den Rahmenmontierungen wird die Entfernung der Pfeiler noch größer, da schon der Rahmen so lang werden muß, daß das Fernrohr in Deklination durchschlagen kann. Diese Konstruktionen erfordern naturgemäß eine erhebliche Vergrößerung des Beobachtungsraumes und der Kuppel.

Man verzichtet daher bei den englischen Montierungen im allgemeinen auf die Möglichkeit der Beobachtung des Pols und des Horizonts im Norden und rückt die Pfeiler näher zusammen, verkürzt also die Stundenachse bzw. den Rahmen, um so mehr, als die freie Beweglichkeit des Fernrohres in allen anderen Lagen, besonders um den Meridian herum, dadurch nicht beeinflußt wird.

Die dritte Konstruktion, die Gabelmontierung (Abb. 8 und 13), findet, wie schon oben bemerkt, im allgemeinen nur Anwendung bei Spiegelteleskopen. Diese gestatten durch das große Gewicht des Spiegels mit seiner Fassung und das verhältnismäßig geringe Gewicht des Okularendes eine Anordnung der Deklinationszapfen nahe dem Spiegel, so daß die Gabel eine nicht so große Längenausdehnung zu erhalten braucht, damit das Spiegelende des Rohres frei in der Gabel durchschlagen kann. Man muß aber dabei auf die Beobachtung in der Nähe des Horizontes im Süden verzichten, da sonst das Rohr, wenn die Gabel nicht wieder sehr lang ausgeführt wird, an das untere Gabelteil anstößt.

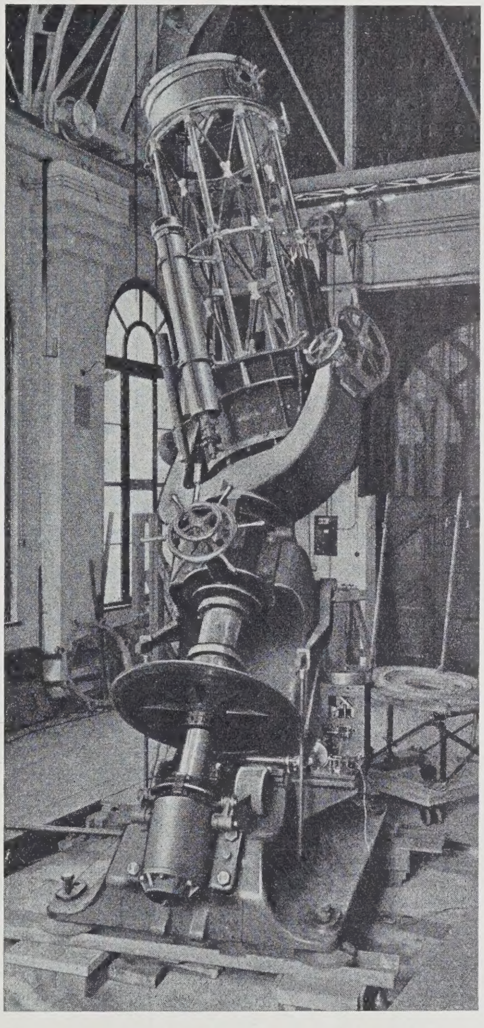


Abb. 13. Spiegelteleskop d. Sternw. Königstuhl b. Heidelberg.
Visuell: 16 cm Öffnung, 2,4 m Brennweite;
Spiegel: 72 cm Öffnung, 2,8 m Brennweite.
Das erste von Carl Zeiss gebaute größere astronomische Instrument.
Gabelmontierung nach amerikanischem Muster.

Eine Gabelmontierung, die einzig in der Welt dasteht, soll hier noch Erwähnung finden; und zwar handelt es sich um die Montierung des sogenannten Riesenfernrohres der Berliner Gewerbeausstellung 1896 (Abb. 14). Die Montierung ist in den Jahren 1894 bis 1896 von der Maschinenbauanstalt C. Hoppe in Berlin ausgeführt; die Gesamtanordnung erdacht und angegeben von dem derzeitigen Chef der Firma Paul Hoppe, im einzelnen konstruiert von dem Verfasser dieses Artikels. Die Anregung, für die Gewerbeausstellung, gewissermaßen als Clou, ein großes Fernrohr aufzustellen, stammt

von dem Privatastronomen Archenhold, der sich dieserhalb an den Chef der Firma C. Hoppe wandte. Die Ideen, die er mitbrachte, waren jedoch unausführbar. Es blieb von ihnen nur der Wunsch übrig, ein möglichst großes Instrument zu schaffen, das eine Drehschutzkuppel entbehren ließ, um die hohen Kosten der Anlage zu sparen.

Paul Hoppe, ebenso wie sein Vater bekannt dafür, für alles Neue bahnbrechend einzutreten, alles Neue auszuführen, was andere ablehnten, stürzte sich begeistert in die Arbeit zur Lösung dieses Problems. Er begnügte sich aber nicht mit der Forderung der kuppellosen Anlage, sondern er wollte, wie man so sagt, aufs Ganze gehen, die größte Bequemlichkeit bei der Beobachtung mit der vollen Bewe-

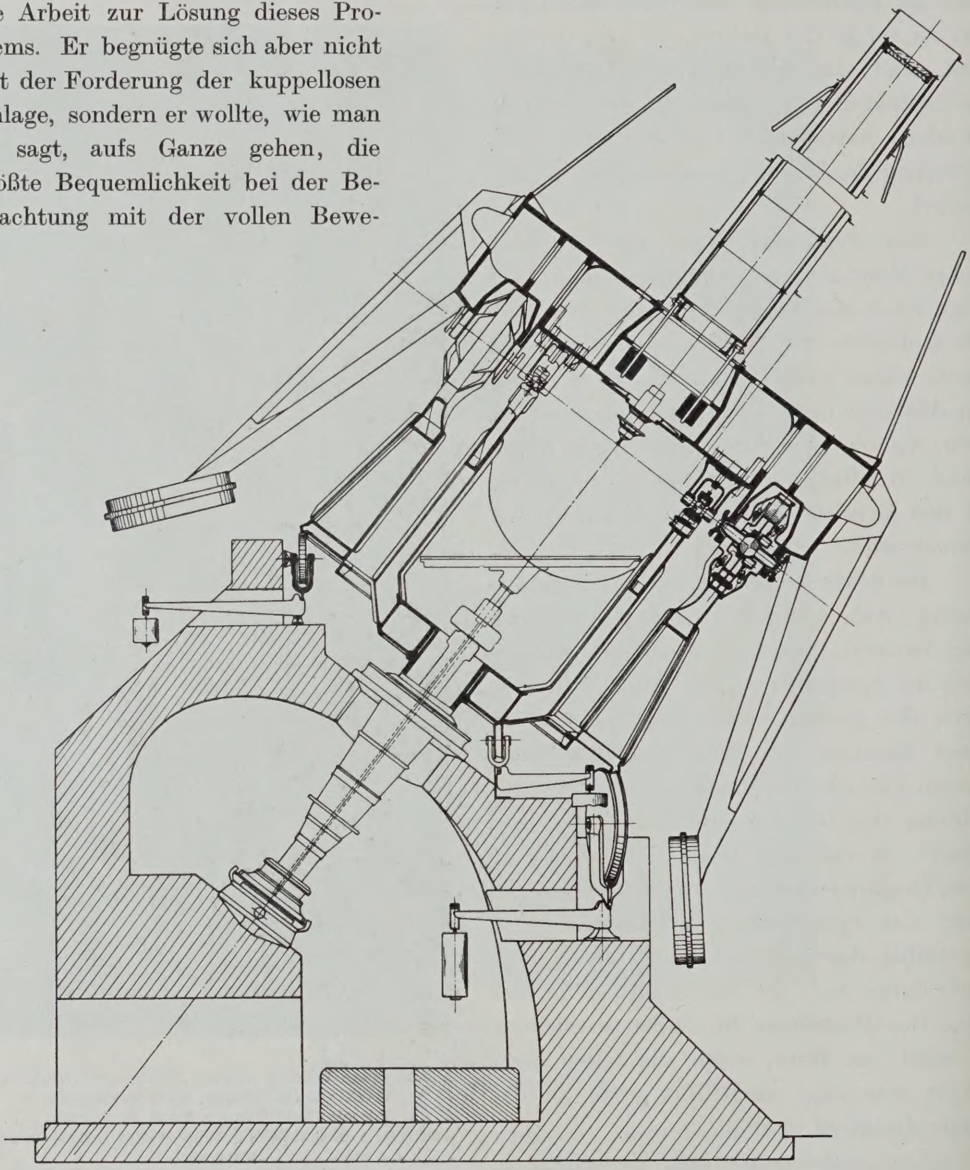


Abb. 14. Das Riesenfernrohr der Berliner Gewerbeausstellung 1896. 70 cm-Refraktor von 21 m Brennweite.

gungsfreiheit des Instruments verbinden. Er schuf damit den eigenartigsten Typ des astronomischen Fernrohres. Er hatte die Kühnheit, ein Fernrohr von 21 m Brennweite und ca. 70 cm Öffnung so zu montieren, daß sich das Okular am Schnittpunkt der Stunden- und Deklinationsachse befand und das riesenlange Rohr um das Okular als Drehpunkt bewegt werden konnte. Es war keine leichte Aufgabe, sie wurde aber trotzdem in

der kurzen Zeit von 2 Jahren durchgeführt. Mit großer Freude gedenkt der Verfasser der Zeit, in der es ihm vergönnt war, mit seinem genialen Chef und väterlichen Freund die großen Schwierigkeiten der Einzelkonstruktionen zu bewältigen.

Das Instrument wurde, wie schon oben bemerkt, in einer großen Gabel montiert, die auf das obere Ende einer 1 m starken hohlen Stundenachse befestigt war. Innerhalb dieser Achse war ein fester säulenartiger Träger angeordnet, der unten mit der Fußplatte des unteren Lagers fest verbunden, im Innern der Stundenachse an der Stelle des oberen Halslagers durch Rollen auf dieses abgestützt war und oben innerhalb der großen Gabel das Podest trug, auf dem sich der Beobachter bewegte.

Das Fernrohr selbst war an einem schweren Querträger befestigt, der gabelartige Böcke trug, mit denen er in den kugelförmigen Zapfen der großen Gabel ruhte. An diesem Träger waren an jeder Seite eine große, weit ausladende Eisenkonstruktion angebracht, die die großen, je über 10 Tonnen schweren Gegengewichte trugen. Durch diese Anordnung wurde das Gewicht des Ganzen naturgemäß ganz gewaltig, und es waren zu damaliger Zeit die Schwierigkeiten, diese Riesengewichte mit der Präzision zu bewegen, die zur Beobachtung nötig war, kaum zu bewältigen. Die Verbiegungen der außerordentlich stark belasteten Achsen, der Gabel usw. mußten möglichst herabgedrückt, die Reibungen in den Lagern auf ein Minimum beschränkt werden.

Man entschloß sich zu einer ganz neuartigen Entlastung der Tragkonstruktion des Fernrohres. Bei den früheren Refraktoren hatte man sich darauf beschränkt, nur die Reibung der Stundenachse zu vermindern, indem man Druckrollen anwendete, die durch Federn oder Gewichte von unten gegen die Stundenachse gepreßt wurden, die Last aufnahmen und dadurch die Reibung im Stundenlager so herabsetzten, daß das Uhrwerk imstande war, das Fernrohr zu drehen. Dabei wurde aber die unvermeidliche Durchbiegung der Achsen nicht behoben. In unserem Falle ging man einen großen Schritt weiter. Man verbreiterte den großen Träger des Fernrohres und brachte außerhalb der Gabel, und zwar genau in der Achsenrichtung der Deklinationsachse, zwei weitere Traglagerböcke an, deren Zapfen in großen Rollenlagern ruhten. Diese Rollenlager befanden sich an einem großen ringförmigen, konischen Träger, der die Gabel ganz umschloß, ohne sie jedoch zu berühren, und unten einen zur Stundenachse konzentrischen Rollenlaufkranz trug. Dieser letztere stützte sich auf große $2^1/_2$ m im Durchmesser haltende Rollen, die, in Gabeln gelagert, durch Gewichte unter Vermittelung von Hebeln von unten gegen den Laufring gedrückt wurden; der Druck dieser Rollen nach oben war nahezu gleich der Gesamtlast des Fernrohres mit seinen Gegengewichten und dem großen Tragring. Es blieb also für die Gabel und die beiden Achsen nur noch eine verhältnismäßig kleine Belastung übrig. Die Reibung in den Lagern sowohl der Stunden- als auch der Deklinationsachse war damit fast aufgehoben, und was von großer Wichtigkeit war, es wurde auch die Durchbiegung der Achsen und der inneren Gabel vermieden, da sie nicht mehr beansprucht wurden. Es war die ganze Konstruktion gewissermaßen in zwei Teile geteilt, die voneinander unabhängig das Tragen des Instrumentes in Rollenlagern einerseits, das Führen des Instrumentes in genauen Gleitlagern andererseits übernahmen. Diese Konstruktion hat sich über Erwarten gut bewährt, und der Verfasser hat in teilweise veränderter und vereinfachter Form bei späteren Montierungen diesen Gedanken weiter ausgebaut.

Außer der Entlastung der Achsen mußte nun aber auch die Durchbiegung des eigentlichen Rohres auf ein Minimum beschränkt werden; diese war bei der großen Länge desselben von 21 m ganz erheblich, sie betrug ca. 7 cm. Bei den üblichen Montierungen ist die Durchbiegung des Rohres, weil es in der Mitte gefaßt ist, er-

heblich geringer und außerdem nicht sehr schädlich, da sich beide Enden ungefähr gleichmäßig durchbiegen und daher die Verbindungslinie der Mitten von Objektiv und Okular in allen Lagen des Instrumentes einigermaßen parallel zur optischen Sollachse bleiben. Es bleibt nur eine kleine Dezentrierung des Objektivs übrig. In unserem Falle war die Sache anders, da sich nur das Objektivende des Rohres durchbog, während das Okularende fest mit dem Querträger verbunden war. Es bildete daher die Verbindungslinie von Objektiv und Okular in jeder Lage einen anderen Winkel mit der sogenannten optischen Sollachse, der nur in Zeniteinstellung gleich Null wurde. Man mußte hier zu anderen Mitteln greifen. Eine Unterstützung des Objektivendes durch Hebel und Gegengewichte, wie dieses Fraunhofer schon angeordnet hatte, verbot sich der großen Länge wegen, und man verfiel auf eine andere Art der Entlastung. Ausgehend von der Tatsache, daß eine Verbiegung eines an einem Ende eingespannten Trägers dadurch zustande kommt, daß bei einer Belastung desselben in seinem Innern oben Zug- und unten Druckspannungen entstehen, wodurch oben eine Verlängerung und unten eine Verkürzung des Trägers erfolgt, versuchte man die Entstehung dieser Spannungen zu verhindern. Man ordnete rings um das Rohr eine größere Anzahl von verhältnismäßig dünnen Stangen an, deren äußere Enden an verschiedenen Stellen des Rohres befestigt waren, während die unteren Enden an dem kurzen Ende von Winkelhebeln befestigt wurden, die innerhalb des großen Trägers untergebracht waren. Die langen Enden der Winkelhebel trugen Gegengewichte. Die Drehachsen der Hebel waren so angeordnet, daß diese sich nur in radialer Richtung bewegen konnten. Bei horizontaler und selbstverständlich auch schiefer Lage des Rohres wurden nun durch die unteren Hebel Drucke, durch die oberen Hebel Züge auf die Stangen ausgeübt. In der Mitte der neutralen Faser des Tragrohres war jedoch die Wirkung der Hebel ausgeschaltet, da die Achsen der Hebel hier senkrecht lagen. Gewichte, Achsen, Hebel und Stangen waren nun so bemessen, daß sie die Spannungen, die durch die Belastung im Rohr entstanden wären, am Entstehen hinderten. Hierdurch wurde dasselbe erreicht, was bei der Entlastung der Achsen erzielt wurde. Die Hebelkonstruktion usw. übernahm das Tragen des Objektivs und des Rohres, so daß für das Rohr selbst nur noch das Führen übrig blieb. Es gelang, die Durchbiegung desselben auf einige Zehntel Millimeter herabzusetzen.

Da das Instrument ganz im Freien aufgestellt war, wurde versucht, das lange Fernrohr durch ein Schutzrohr, das nur am unteren Ende mit dem großen Träger verschraubt war, gegen den Einfluß des Windes zu schützen. Leider gelang dieses nicht ganz. Schon bei schwächeren Winden entstanden leise Schwankungen, die nicht ganz zu beseitigen waren. Es hat sich diese Konstruktion daher nicht einzubürgern vermocht, und das Instrument wird nur als Vorführungs-Instrument für das Publikum benutzt, trotzdem es sehr wohl möglich wäre, bei ruhiger Luft auch wissenschaftlich damit zu arbeiten.

Weitere Ausführungen von Instrumenten, bei denen die obigen Grundgedanken Verwendung fanden, sind bei der Firma Zeiss in Jena entstanden. Hier hat man jedoch von vornherein darauf verzichtet, ohne Schutzkuppel zu arbeiten, und hat sich damit begnügt, das Okularende des Fernrohres nur näher an den Schnittpunkt der beiden Achsen, aber nicht in denselben zu bringen. Die Deklinationsachse wurde nicht mehr wie bei einer reinen Gabelmontierung in zwei Zapfen aufgelöst, sondern sie blieb als volle Achse bestehen, wurde aber ganz ähnlich, wie bei dem Berliner Instrument, in einem gabelartigen Lagerträger montiert, der auf dem oberen Ende der Stundenachse befestigt war (Abb. 15).

Der optische Teil des Instrumentes wurde nun nicht wie bei der deutschen Montierung an das eine Ende der Deklinationsachse und auch nicht wie beim Riesenfernrohr in Richtung der Stundenachse, sondern quer auf die Deklinationsachse aufgebaut, indem man ihn seitlich auf einen gabelförmigen Bock montierte, dessen Gabelenden neben den Lagern der Achse mit dieser verbunden waren. Durch diese Anordnung wurde der optische Teil seitlich so weit von dem Achsensystem entfernt, daß jede Lage, auch die Pollage, in jedem Stundenwinkel erreicht werden konnte, ohne an irgendeiner Stelle anzustoßen; die freie Bewegung wurde also nirgends gestört. Die Balancierung erfolgte nunmehr durch zwei Gegengewichte, und zwar wurde an jedem Ende der Deklinationsachse eines angebracht. Diese Anordnung gestattete eine völlige Entlastung beider Achsen, und zwar nicht wie bei dem Berliner Instrument von außen, sondern von innen heraus. Zu dem Zwecke wurden beide Achsen hohl ausgebildet und dadurch Platz geschaffen für die das Tragen des beweglichen Teils bewirkenden, entlastenden Konstruktionsteile. Die Entlastung geschah in folgender Weise: Durch die hohle Deklinationsachse wurde eine massive Stahlachse gesteckt, deren kugelförmige Verstärkung in der Mitte eine gelenkige Verbindung mit der ersteren gestattete. Im übrigen ging sie frei hindurch, ohne die hohle Achse weiter zu berühren. Diese Stahlachse trug an jedem Ende einen der Gegengewichtshebel für die Balancierung des Instrumentes. Dadurch wurde das Gesamtgewicht (optischer Teil und Gegengewichte) bei horizontaler Lage der Gegengewichtshebel und senkrechter Lage des optischen Teils in der Mitte der Deklinationsachse vereinigt. Damit dieses aber auch in senkrechter Lage der Hebel und horizontaler Lage des optischen Teils erfolgte, wurden am Angriffspunkt der Gegengewichtshebel noch zwei weitere Hebel mit Gegengewichten eingeschaltet, deren Wirkung senkrecht zu den ersteren erfolgte. Durch die gemeinschaftliche Wirkung beider Gegengewichtshebelpaare wurde nunmehr auch in jeder schrägen Lage des Instrumentes die Gesamtlast genau auf die Mitte der Deklinationsachse konzentriert. Naturgemäß würde die letztere durch diese Belastung in der Mitte sehr stark verbogen und die Lager der Deklinationsachse außerdem voll belastet werden. Um dieses zu verhindern, wurde die Deklinationsachse in der Mitte, also im Angriffspunkt der Gesamtlast, durch ein kräftiges Kugellager umschlossen, das kardanisch beweglich auf das Ende einer zweiten Stahlachse aufgebaut wurde. Diese wurde durch die hohle Stundenachse geführt, ohne diese zu berühren, und unterhalb der letzteren wieder in einem starken Kugellager gelagert. Dieses Kugellager wurde ebenfalls kardanartig frei beweglich durch Vermittlung zweier Stahlstützen auf dem Sockel abgestützt. Am anderen Ende trug diese Achse wieder ein großes Gegengewicht. Sie wirkte also wie ein schief liegender Wagebalken und erzeugte im oberen Kugellager einen starken Druck vertikal nach oben, der das Gesamtgewicht von Fernrohr und Gegengewichten von der Deklinationsachse abhob. Dieser wurde dadurch

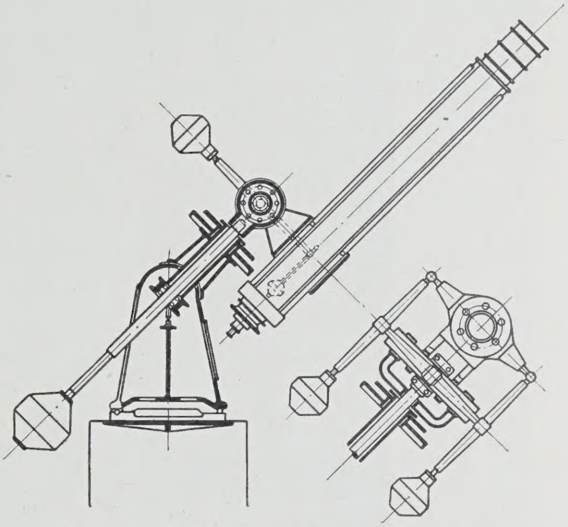


Abb. 15. Zeiss Montierung mit Entlastungs-Einrichtung des Rohres und beider Achsen.

die ganze Last abgenommen, sie schwebte gewissermaßen frei zwischen den beiden Kräften: Gesamtgewicht nach unten und Druck nach oben. Wenn nun aber die Deklinationsachse nicht mehr belastet war, so blieben auch ihre Lager und damit auch die Gabel und die Stundenachse unbelastet. Es wurden also beide Achsen gleichzeitig entlastet. Auch hier wurde das Tragen der bewegten Teile des Instrumentes durch

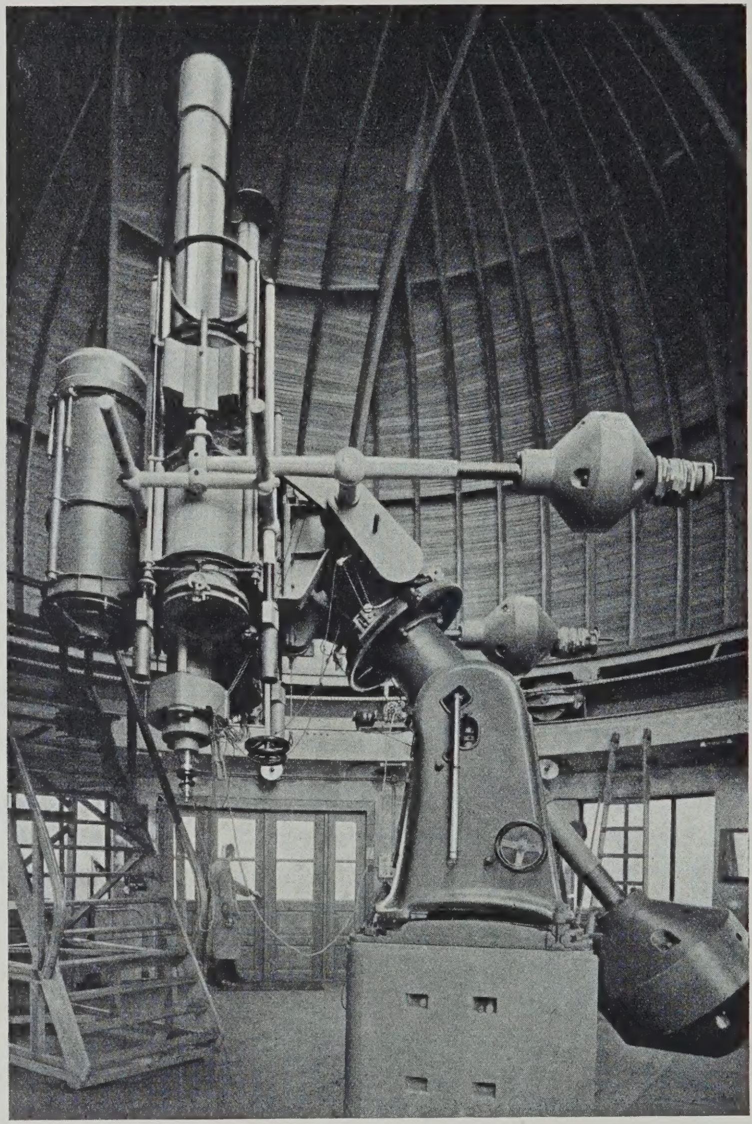


Abb. 16. Versuchsrefraktor der Zeiss-Sternwarte Jena mit aufmontiertem Spiegelteleskop nach Schwarzschild

die Stahlachsen und die Kugellager übernommen, deren beliebige Durchbiegung unschädlich war, während das genaue Führen durch die hohlen Achsen erfolgte, die in genau geschliffenen Gleitlagern ruhten, aber unbelastet blieben. Neuerdings werden bei größeren Instrumenten die Achsen direkt in Kugellagern geführt, um einen möglichst leichten Gang zu erzielen. Die Firma Zeiss kann sich dazu nicht entschließen, da nach ihren Versuchen ein jedes Kugellager bei starker Belastung etwas schlottert, daß also ein einwandfreier, genauer Gang des Instrumentes nicht gewährleistet werden kann.

Neben der Vermeidung der Durchbiegung wurde aber trotz des stark erhöhten Gewichtes ein sehr leichter Gang des Instrumentes erzielt, der dann auch ein sehr genaues Bewegen des Instrumentes ermöglichte. Weitere Vorteile dieser Montierung sind darin zu erblicken, daß durch die Verwendung des großen Gegengewichtes der Schwerpunkt des ganzen Instrumentes hinter die eigentliche Stundenachse verlegt wird. Der Sockel desselben sowie das Fundament rückt dadurch aus der Mitte des Beobachtungsraumes um ein erhebliches Stück nach Süden und gibt den Raum in der Mitte für den Beobachter frei. Die Erhöhung des Gesamtgewichtes des Instrumentes gibt demselben eine erhebliche, vergrößerte Sicherheit gegen Erschütterungen aller Art.

Der gabelartige, stabile Bock läßt ein bequemes Aufmontieren der verschiedensten optischen Instrumente wie Refraktoren, Reflektoren, photographischen Kammern, Spektrographen usw. zu. Dank der außerordentlichen Stabilität der Montierungen können langbrennweitige Fernrohre sehr weit nach vorn durchgeschoben werden, so daß das Okular in der Nähe des Schnittpunktes beider Achsen bleibt. Die Durchbiegungen des Rohres usw. können dann entweder durch geeignete Anordnung der Balanciergewichte oder in der Art der Entlastung des Riesenfernrohres vermieden werden.

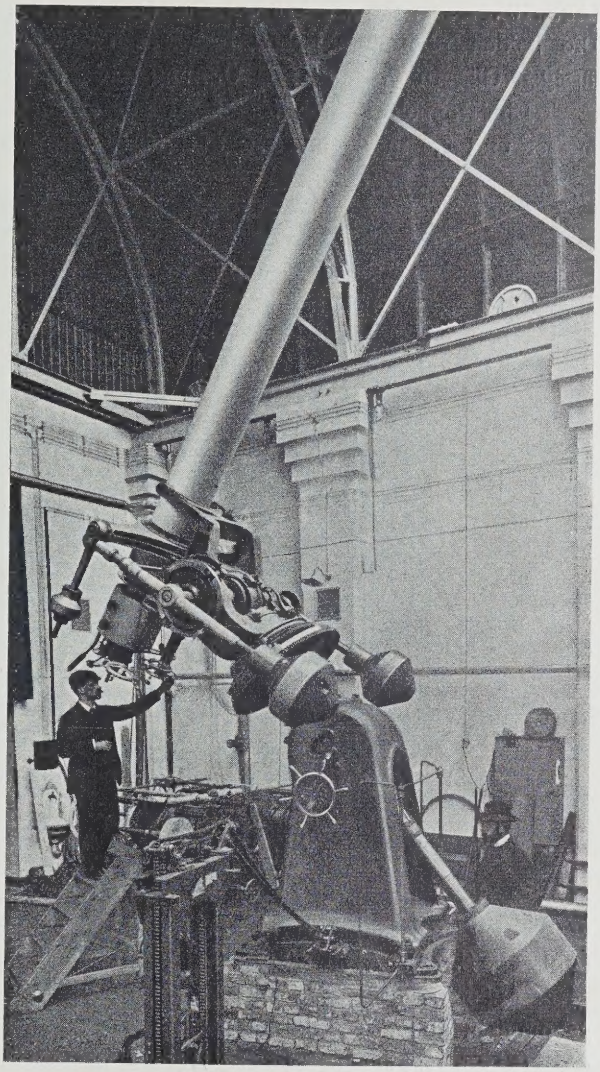


Abb. 17. Refraktor der Urania Zürich. 30 cm Öffnung, 5 m Brennweite. Zeissmontierung mit Entlastung beider Achsen ab des Rohres.

Die Konstruktion ist in den verschiedensten Variationen zur Ausführung gekommen. Als erste kam sie bei dem Refraktor der Zeiss-Sternwarte (Abb. 16) zur Anwendung. Dieser sollte außer rein astronomischen Arbeiten auch der Prüfung von Objektiven, besonders größeren astrophotographischen dienen. Es wurden daher neben einem Fernrohr von 30 cm Öffnung und 5 m Brennweite noch zwei Lichtwege für Objektive bis 40 cm Öffnung und 2,5 m Brennweite vorgesehen. Die Objektivplatten lassen sich beliebig ausziehen, und der Lichtabschluß erfolgt nach Art der photographischen Kameras durch große Balgen. Außerdem ist ein Sucher, eine Sonnenkamera von 100 mm freier Öffnung und 4 m Brennweite fest angebaut. Zur Befestigung von kleinen Kammern und sonstigen Nebeninstrumenten ist ein Rahmen vorgesehen, der gleichzeitig als Angriffspunkt der Gegengewichtshebel dient.

Als rein visuelle Refraktoren sind die Instrumente der Uraniasternwarte in Zürich (Abb. 17) und des Deutschen Museums in München (Abb. 18) ausgebildet. Beide haben eine freie Öffnung von 30 cm und 5 m Brenweite. Sie dienen neben der wissenschaftlichen Arbeit durch Privatastronomen hauptsächlich der allgemeinen Vorführung sowie der Belehrung des Publikums.

Die Sternwarte Neuchâtel erhielt einen dreifachen photographischen Refraktor (Abb. 19). Das Leitrohr hat ein Objektiv von 300 mm Öffnung und 5 m Brennweite. Die beiden photographischen Kameras dreiteilige Objektive aus ultraviolett durchlässigen Gläsern von 360 mm Öffnung und 4,5 m Brennweite.

Ein Doppelrefraktor bestehend aus einem Leitrohr mit 180 mm Objektivdurchmesser und 3,5 m Brennweite und einer Kamera von 210 mm Objektivdurchmesser

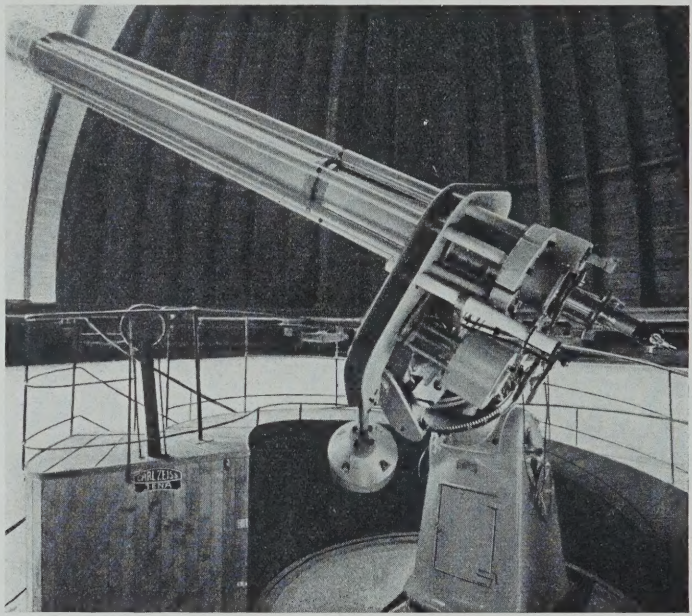



Abb. 18. Refraktor des Deutschen Museums München.
Zeissmontierung mit Entlastungseinrichtung beider Achsen und des Rohres.

und 3,4 m Brennweite wurde dem Privatastronomen Rudolf König in Wien geliefert (Abb. 20, S. 72). Auch dieses Objektiv besteht aus ultraviolett durchlässigen Gläsern.

Außer anderen Refraktoren sind noch diverse Spiegelteleskope zur Ausführung gekommen, von denen die größten für die Hamburger Sternwarte in Bergedorf und die Universitätssternwarte Berlin in Babelsberg hergestellt wurden.

Das erstere hat einen Spiegel von 1 m Durchmesser bei einer Brennweite von 3 m und ist damit wohl das lichtstärkste Instrument der Welt (Abb. 21, S. 73). Es ist mit einem Leitfernrohr von 200 mm Öffnung und 3 m Brennweite ausgerüstet.

Das Spiegelteleskop für Berlin-Babelsberg hat einen Spiegeldurchmesser von 1,2 m und eine Brennweite von 8,4 m (Abb. 22, Tafel 2; Abb. 23, Tafel 3; Abb. 25, S. 75). Es ist für beide Systeme, Newton und Cassegrain eingerichtet, während bei dem Hamburg-Bergedorfer Teleskop der Beobachtungsapparat und die photographische Kamera im Fokus angeordnet war. Erst in letzter Zeit ist auch hier eine Newton- und Cassegrain-Anordnung vorgesehen. Da in den Einzelheiten beide Instrumente gleichartig aufgebaut sind, so soll hier nur auf das Berlin-Babelsberger näher ein-

gegangen werden. Die Montierung ist nach dem schon oben beschriebenen Zeissschen Entlastungssystem ausgeführt, das in der anliegenden Schnittzeichnung (Abb. 23) in allen Einzelheiten klar und deutlich dargestellt wurde, und es erübrigt sich, hier nochmals näher auf Einzelheiten einzugehen. Das Spiegelrohr mit seinem sehr stabilen, schmiedeeisernen Zwischenstück fest auf dem gabelartigen Bock aufgeschraubt, ist doppelwandig ausgebildet. Das äußere Rohr trägt unten den Spiegel mit der Fassung

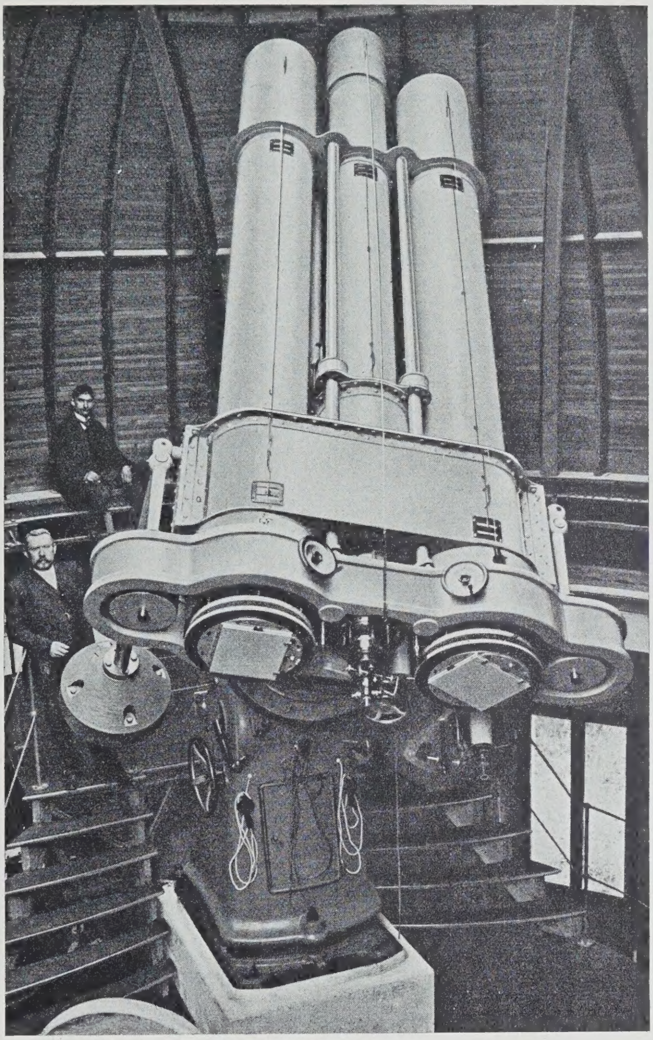


Abb. 19. 3facher photogr. Refraktor der Sternwarte Neuchâtel.
Visuell: 30 cm Öffnung, 5 m Brennweite;
photogr.: 2 UV. Triplets 36 cm Öffnung, 4,5 m Brennweite.
Zeissmontierung mit Entlastung der Rohre und beider Achsen.

und oben das den Gegenspiegel, die Beobachtungseinrichtungen und die photographische Kamera enthaltende Rohrteil. Das innere Rohr dient der Entlastung des äußeren Rohres. Es trägt am unteren und oberen Ende eine Reihe im Kreise angeordneter Hebel, die, durch Gegengewichte belastet, dem äußeren Rohr das Tragen der Gewichte abnehmen und ihm nur das Führen überlassen.

Die Fassung des Spiegels, der, wie wohl allgemein bekannt, ein Oberflächenspiegel ist, ist ganz besonders sorgfältig ausgeführt. An einen astronomischen Parabol-

spiegel werden außerordentlich hohe Anforderungen gestellt und es genügt eine minimale Verspannung, um das Bild, das der Spiegel erzeugt, im astronomischen Sinne zu verderben. Um einen Begriff zu geben von der großen Empfindlichkeit eines solchen, seien hier einige Worte über die Herstellung eines solchen Spiegels gesagt. Das Material, aus dem die Spiegel hergestellt werden, ist bis heute immer noch das Glas. Versuche, sie aus Quarz herzustellen, sind leider noch immer nicht zur Zufriedenheit ausgefallen, werden aber eifrig fortgesetzt, weil die Vorteile des Quarzspiegels wegen seiner erheblich geringeren Temperaturempfindlichkeit sehr bedeutend sind. Da die Spiegel, wie schon gesagt, Oberflächenspiegel sind, so braucht das Glas nicht von der Vollkommenheit zu sein, wie es Objektivscheiben erfordern, braucht z. B. nicht schlierenfrei zu sein. Der Hauptwert ist darauf zu legen, daß es gut spannungsfrei und porenlos ist. Nachdem der Rohglasklotz daraufhin untersucht ist, wird ihm durch Abdrehen und Abschleifen seine äußere Form gegeben. Nach nochmaliger Prüfung auf Spannung wird er, wenn nötig, nochmals gekühlt, und nun erst schreitet man zur Herstellung der reflektierenden Fläche. Nebenbei sei noch bemerkt, daß die Dicke des Glasklotzes mindestens $^1/_6$ des Durchmessers betragen muß, da sonst an eine dauernde Erhaltung der Form nicht zu denken ist. Zuerst wird dann die Fläche kugelförmig geschliffen, und zwar nach einem Radius gleich der doppelten geforderten Brennweite, da die Kugelfläche sich in diesem Falle am besten dem Paraboloid anschmiegt. Es ist dieses kein großes Kunststück, denn eine genaue Kugelfläche entsteht beim Schleifen zweier gleichartig gekrümmter Flächen aufeinander automatisch. Es ist nur durch richtige Formgebung des metallenen Schleifkörpers dafür zu sorgen, daß der richtige Radius entsteht. Da sich beim Schleifen beide Körper, Glas sowohl wie auch das Metall, wenn auch das letztere erheblich weniger, abschleifen, so ist der metallene Schleifkörper häufiger nachzuarbeiten, bis der richtige Radius entstanden ist. Nachdem die Fläche genau und fein geschliffen ist, wird sie auspoliert, was in ähnlicher Weise geschieht wie das Schleifen, nur mit dem Unterschied, daß zum Polieren der Schleifkörper mit Pech begossen wird und statt des Schmirgels das sogenannte Polierrot, ein feines Eisenoxydulpulver Verwendung findet. Nun erst, nachdem die Fläche optisch sauber und genau auspoliert ist, geht man an die Deformation, d. h. man wandelt

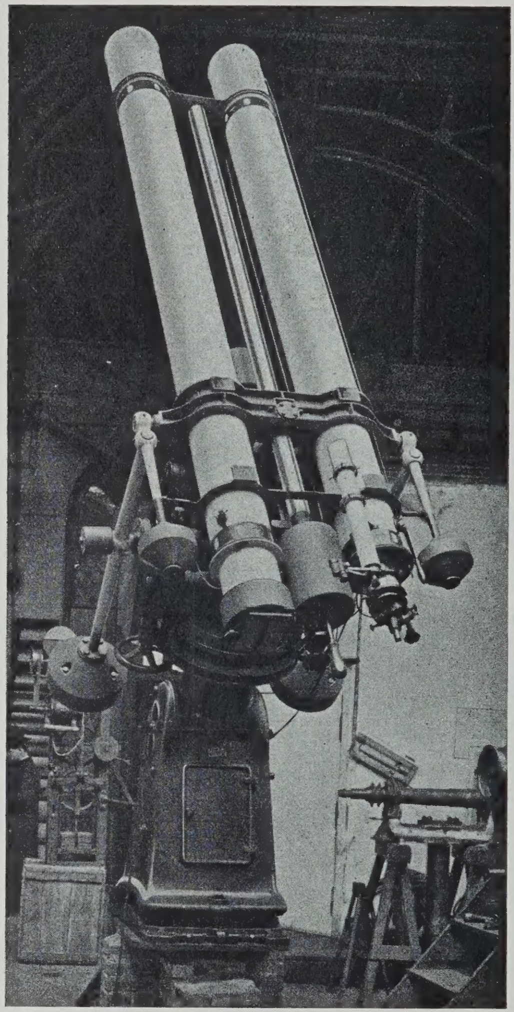


Abb. 20. Photographischer Refraktor d. Herrn Rud. König, Wien. Visuell: 180 mm Öffnung, 3,5 m Brennweite; photogr.: 210 mm Öffnung, 3,5 m Brennweite. Zeissmontierung mit Entlastung der Rohre und beider Achsen.

die Kugelfläche in eine paraboloidische Fläche um. Diese Arbeit ist wohl die schwierigste und zeitraubendste von allen optischen Herstellungsverfahren. Um dieses zu begreifen, muß man sich einmal klarmachen, wie groß der Unterschied zwischen Kugel- und Paraboloidfläche eigentlich ist. Man kommt da auf ungeheuer kleine Werte. Wenn beide Flächen so aufeinandergelegt werden könnten, daß sie am äußersten Rand aufeinander aufliegen, d. h. tangieren, so würde zwischen Kugelfläche und Paraboloidfläche

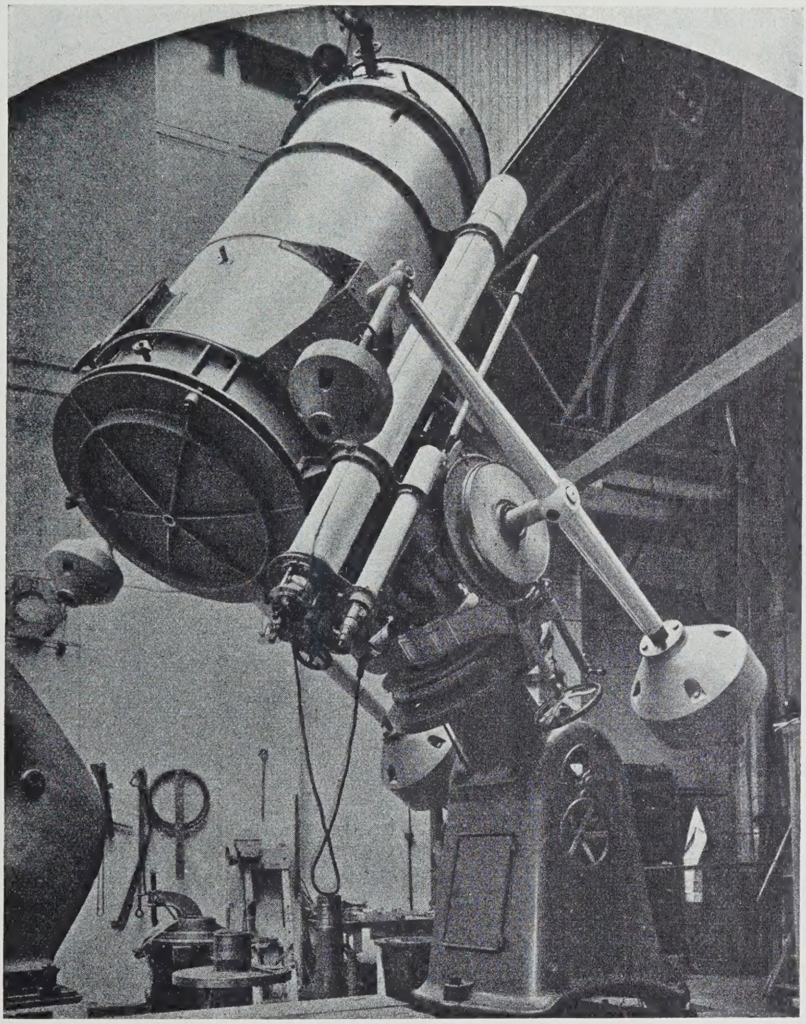


Abb. 21. Reflektor 100 cm Öffnung, 3 m Brennweite der Sternwarte Hamburg-Bergedorf. Zeissmontierung mit Entlastung der Rohre und beider Achsen.

in der Mitte ein geringer Zwischenraum entstehen. Das Maß dieses Zwischenraumes bei einem Spiegel von 1 m Durchmesser und 3 m Brennweite (Hamburg-Bergedorf) beträgt 0,036 mm, das sind 36 tausendstel Millimeter, und bei einem Spiegel von 1,2 m Durchmesser und 8,4 m Brennweite (Berlin-Babelsberg) gar nur 0,003 mm, also 3 tausendstel Millimeter. Man kann sich vorstellen, wie ungeheuer schwierig es ist, diese minimalen Beträge in der Mitte herauszukorrigieren, und zwar so, daß sie nach dem Rande zu, dem Gesetz der Parabel entsprechend, immer kleiner werden. Wie häufig kommt es da vor, daß durch geringe Unaufmerksamkeit in einer Zone etwas zu viel heraus-

genommen wird. Es bleibt dann nichts anderes übrig, als wieder den Anfangszustand die Kugelfläche herzustellen und wieder von vorn mit dem Deformieren zu beginnen Form und Politur müssen gleichzeitig fertig werden, da jede Nachpolitur die Form wieder verdirbt. Man darf daher an ein eigentliches Schleifen mit Schmirgel nich denken, sondern muß das Zuviel nur durch Politur mit den verschiedensten Polieren beseitigen, was, wie man sich wohl denken kann, sehr langwierig ist. Die Prüfung die täglich erfolgen muß, kann nur optisch geschehen, da ein mechanisches Ausmessen der Fläche eine Unmöglichkeit ist. Man geht dabei in folgender Weise vor: Nachdem am Tage eine Zeit lang nach einer gewissen Manier poliert ist, richtet man den Spiege auf und läßt ihn sich, da durch das Poliere immer eine geringe, einseitige Erwärmun entsteht, die eine wenn auch kleine Defor mation hervorruft, über Nacht vollstän dig austemperieren. Am nächsten Morge mißt man dann die Brennweiten der ein zelnen Zonen, stellt damit die Aberra tionen fest und zeichnet die Abweichun gen in einer Kurve auf. Aus dieser wir dann auf Grund von Erfahrung das nötig Polierverfahren für den nächsten Tag be stimmt. Je näher man an die gewünscht Grenze kommt, desto vorsichtiger mu vorgegangen werden, desto kürzer sin die Polierzeiten und desto langwierige wird dadurch der Arbeitsgang. Als Tole ranz wird je nach dem Öffnungsverhält nis des Spiegels ein Brennweitenunter schied von 0,03 bis 0,1 mm zugelassen Was das bei Brennweiten von viele Metern bedeutet, kann man sich schwe vorstellen. Aus vorstehendem sieht man wie ungeheuer empfindlich ein solche Spiegel gegen äußere Einflüsse sein muß trotz seiner großen Dicke. Es muß dahe bei der Konstruktion der Fassung ganz besondere Vorsicht obwalten. Vor allen Dinge muß die Auflagerung auf der Rückfläche so erfolgen, daß der Spiegel an möglichst viele Stellen unterstützt wird, und daß der Druck auf allen diesen Unterstützungsstelle gleich ist und auch in jeder Lage des Spiegels gleich bleibt. Eine noch so gena gearbeitete metallische Unterlage genügt da nicht, da diese immer gewissen Deforma tionen durch die Beanspruchung oder durch Temperatureinflüsse unterworfen ist. De Amerikaner Ritchey unterstützte seine Spiegel an drei Stellen, die gleichmäßig au dem Schwerpunktskreis des Spiegels verteilt waren, und vermied die, durch diese Auf lagerung unweigerlich entstehende Verspannung und Deformation des Spiegels dadurch daß er an verschiedenen um die drei Stützstellen gleichmäßig verteilten Punkte Doppelhebel parallel zur Auflagerfläche anbrachte, deren Drehpunkt an der Fassungs fläche angeordnet war. Das eine Ende trug ein Gewicht, durch welches das ander gegen den Spiegel gedrückt wurde. Man kann sich nun denken, daß die Gegen gewichte so abgestimmt werden können, daß die Drücke gegen den Spiegel an alle

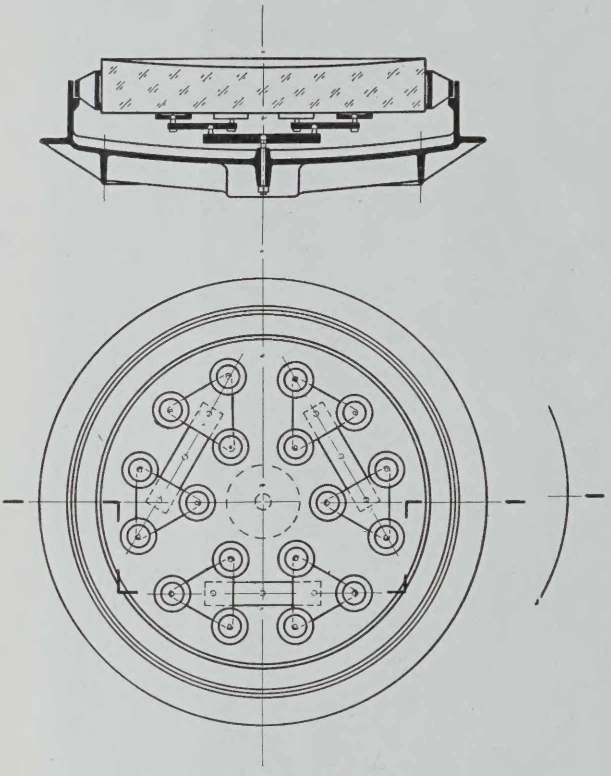


Abb. 24. Zeiss'sche Spiegellagerung.

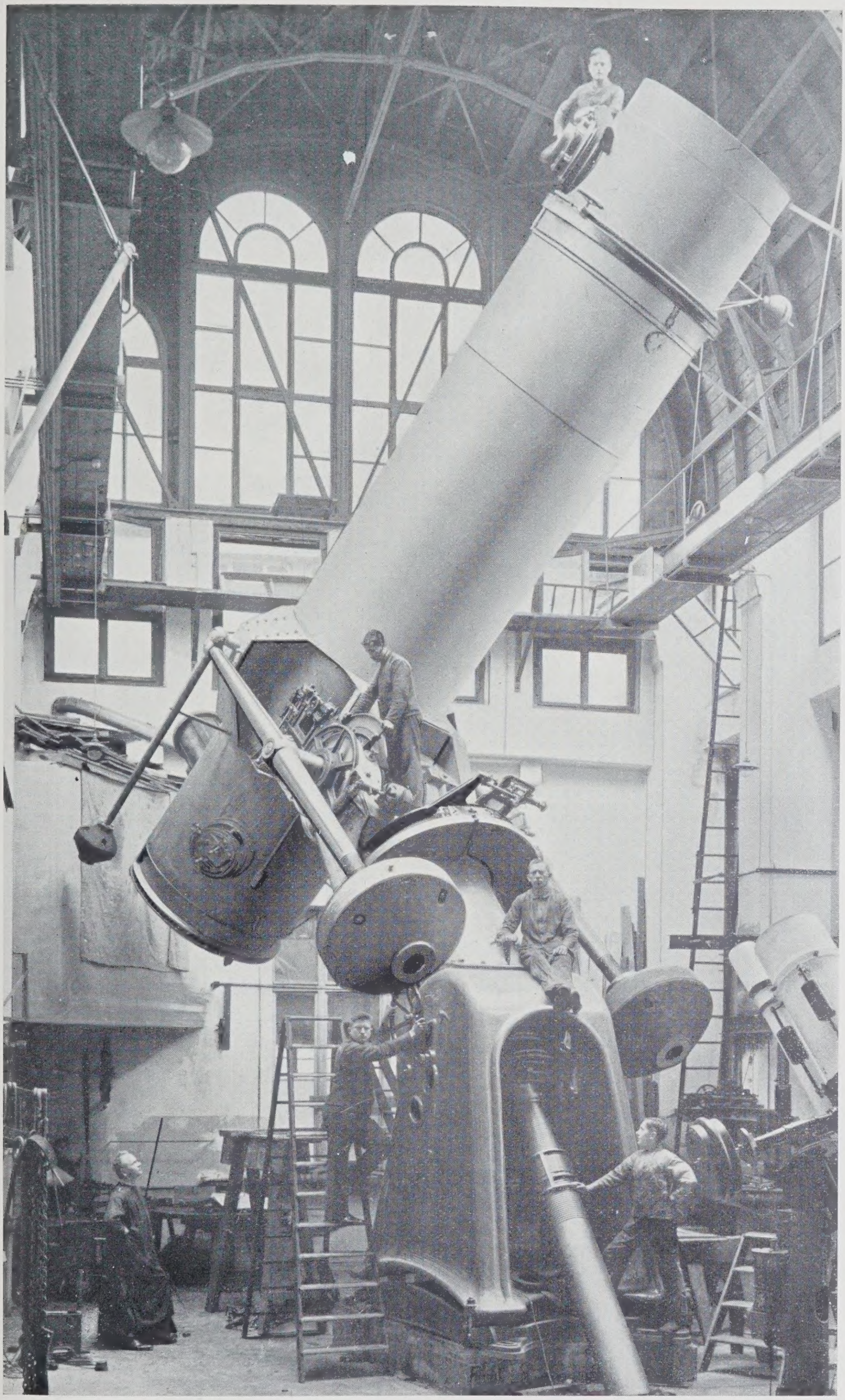


Abb. 22. Reflektor 120 cm Öffnung, 8,4 m Brennweite der Sternwarte Berlin-Babelsberg.
Zeissmontierung mit Entlastung des Rohres und beider Achsen.

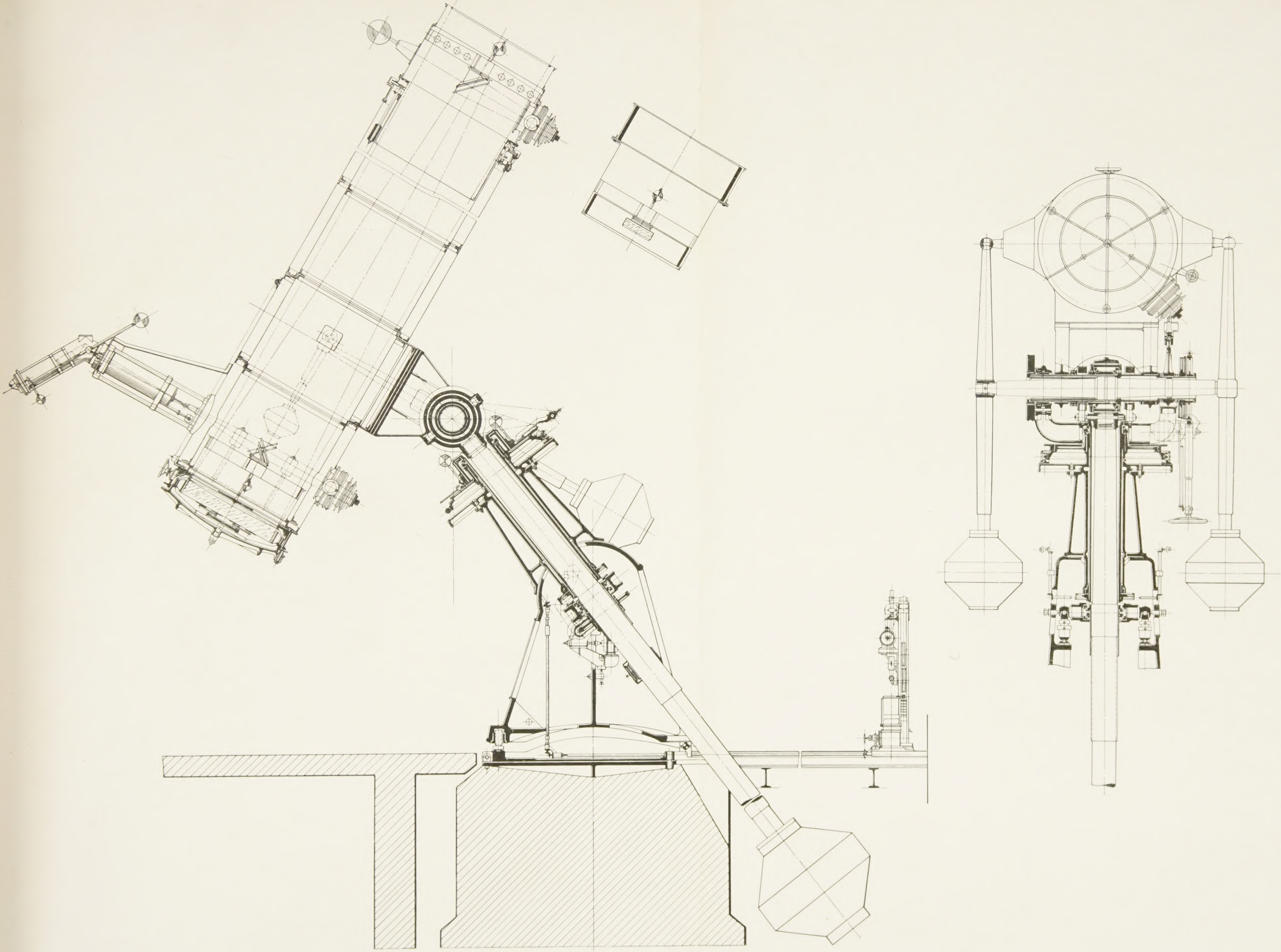


Abb. 23. Spiegelteleskop der Sternwarte Berlin-Babelsberg.

Hebeldruckstellen und den drei Auflagerpunkten gleich groß werden und bleiben müssen, wodurch eine Verspannung mit Sicherheit vermieden wird. Die Zeisslagerung erfolgt in ähnlicher, nur stark vereinfachter Weise (Abb. 24). Man geht wieder von denselben drei Stützpunkten, gleichmäßig im Schwerpunktskreis verteilt, aus, lagert aber den Spiegel nicht unmittelbar auf diesen Stützpunkten, sondern bringt zwischen Spiegel und Fassungsplatte ein System von Hebeln und Tragplatten an, die automatisch das Gewicht des Spiegels auf 18 Punkte gleichmäßig verteilen. Das wird auf folgende Weise erreicht. Auf jedem der drei Stützpunkte ruht ein in der Mitte auf einer Kugel

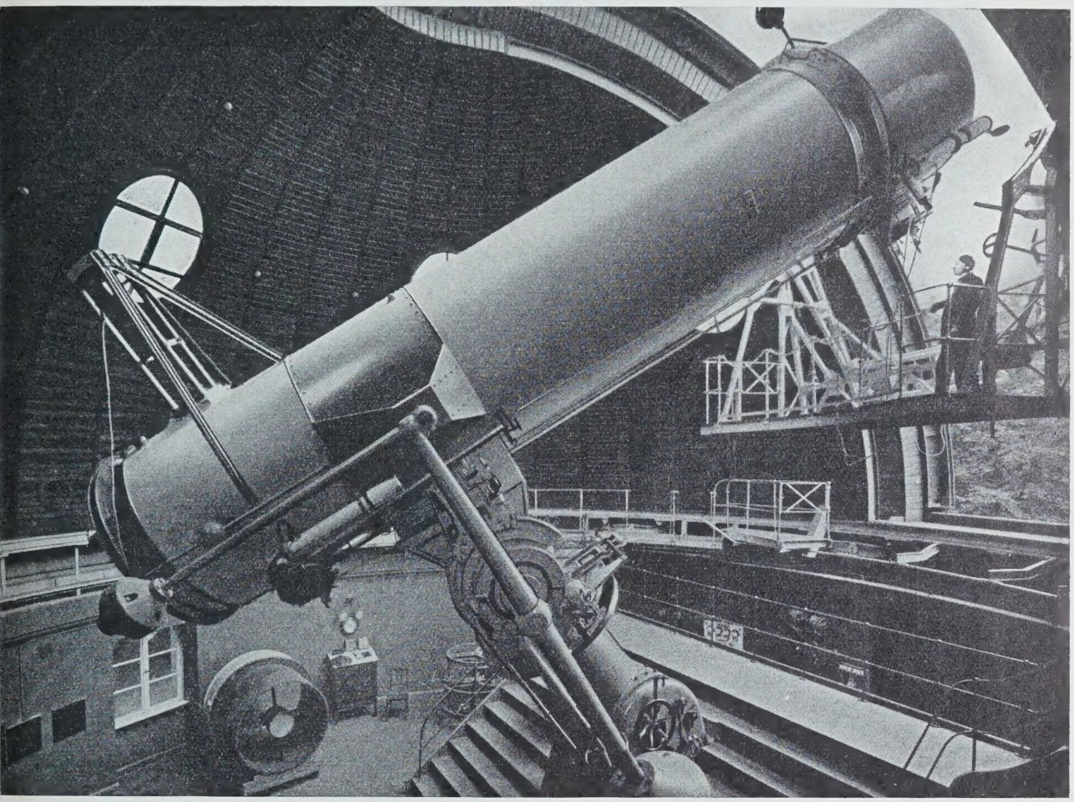


Abb. 25. Reflektor für Sternwarte Berlin-Babelsberg in der Kuppel mit parallel zum Spalt beweglichem Beobachtungspodest.

leicht kippbarer, doppelarmiger Hebel. An jedem Ende trägt jeder dieser Hebel eine dreieckige Tragplatte, auch wieder in der Mitte auf einer Kugel leicht kippbar, und jede der Tragplatten trägt wieder leicht auf einer Kugel kippbar eine runde Platte. Auf diesen 18 Platten ruht nunmehr der Spiegel, und zwar fest und sicher und, da alle Hebelarme unter sich und die Radien der dreieckigen Tragplatten ebenfalls unter sich gleich sind, müssen auch die Auflagedrucke auf alle 18 Platten gleich sein. Was Ritchey durch die Gegengewichte erzielt, deren genaue Einstellung immerhin nicht ganz leicht ist, wird hier ganz automatisch erhalten. In bezug auf die seitliche Beanspruchung durch die Fassung ist der Spiegel im großen ganzen etwas weniger empfindlich, trotzdem ist es auch hier nicht zulässig, den Spiegel einfach in eine feste Fassung einzulegen, denn, paßt man sie genau bei normaler Temperatur von ca. 15°, so wird der Spiegel in der Kälte verspannt, in der Wärme wird er dagegen schlottern.

Um dies zu verhüten, werden zwischen Fassung und Spiegel geeignete Zinkbacken gelegt, die die verschiedenen Ausdehnungen kompensieren.

Wie schon oben bemerkt, ist das Spiegelteleskop sowohl nach dem Newton- als auch nach dem Cassegrainsystem ausgebildet. Die beiden Systeme unterscheiden sich dadurch, daß beim Newtonsystem, das im Fokus des Spiegels entstehende Bild direkt beobachtet bzw. photographiert wird, während beim Cassegrainsystem in den

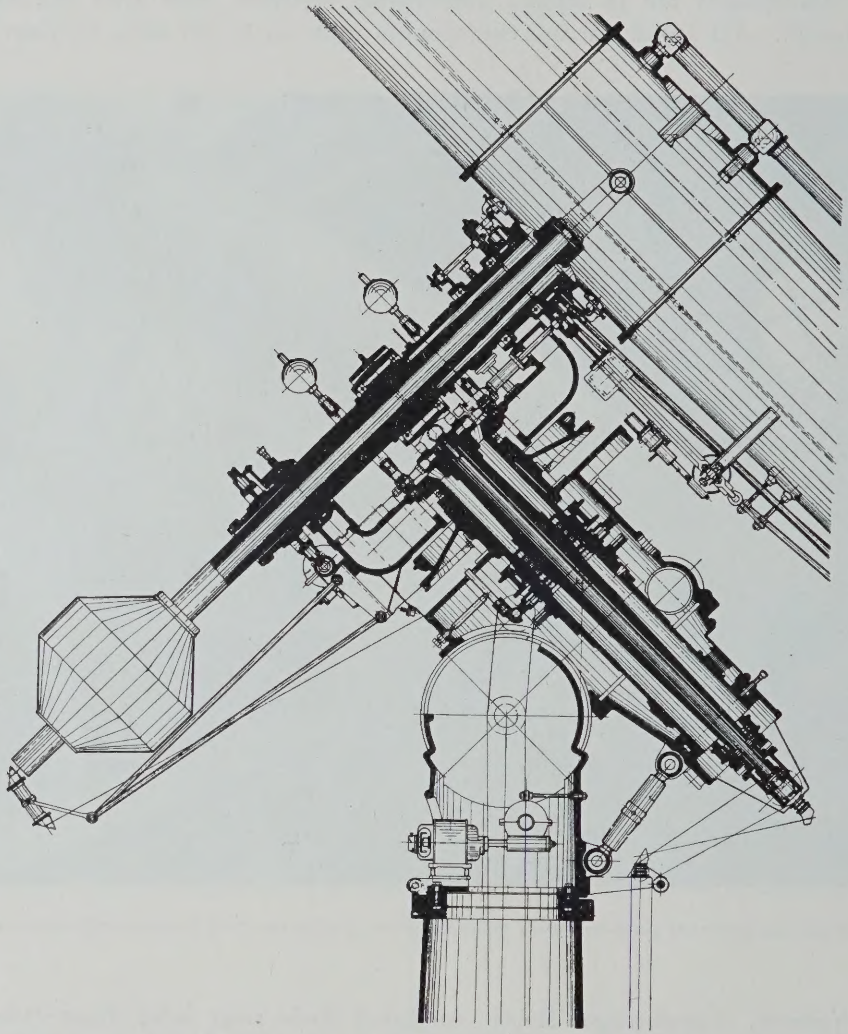


Abb. 26. Achsensystem des Refraktors der Sternwarte Berlin-Babelsberg.
Entlastung in Deklination wie beim Normalrefraktor von Zeiss.
Entlastung in Stunde durch starke, genau justierbare Federn, statt durch ein großes Gegengewicht.

Strahlengang des Hauptspiegels ein kleinerer Konvexspiegel eingeschaltet wird, der die Strahlen wieder gegen den Hauptspiegel ablenkt und je nach seiner Krümmung die Brennweite mehr oder weniger verlängert. Beim Newtonsystem wird zwischen Brennpunkt und Hauptspiegel in der Nähe des ersteren ein Planspiegel unter 45° zur optischen Achse eingebaut, der die Strahlen um 90° gegen die Rohrwand ablenkt. An dieser erst ist dann die Beobachtungs- bzw. Kassetteneinrichtung angebaut. Es wird bei diesem System also am oberen Ende des Rohres beobachtet. Diese Art der Beobachtung ist stets mit mehr oder weniger großen Schwierigkeiten verknüpft, denen

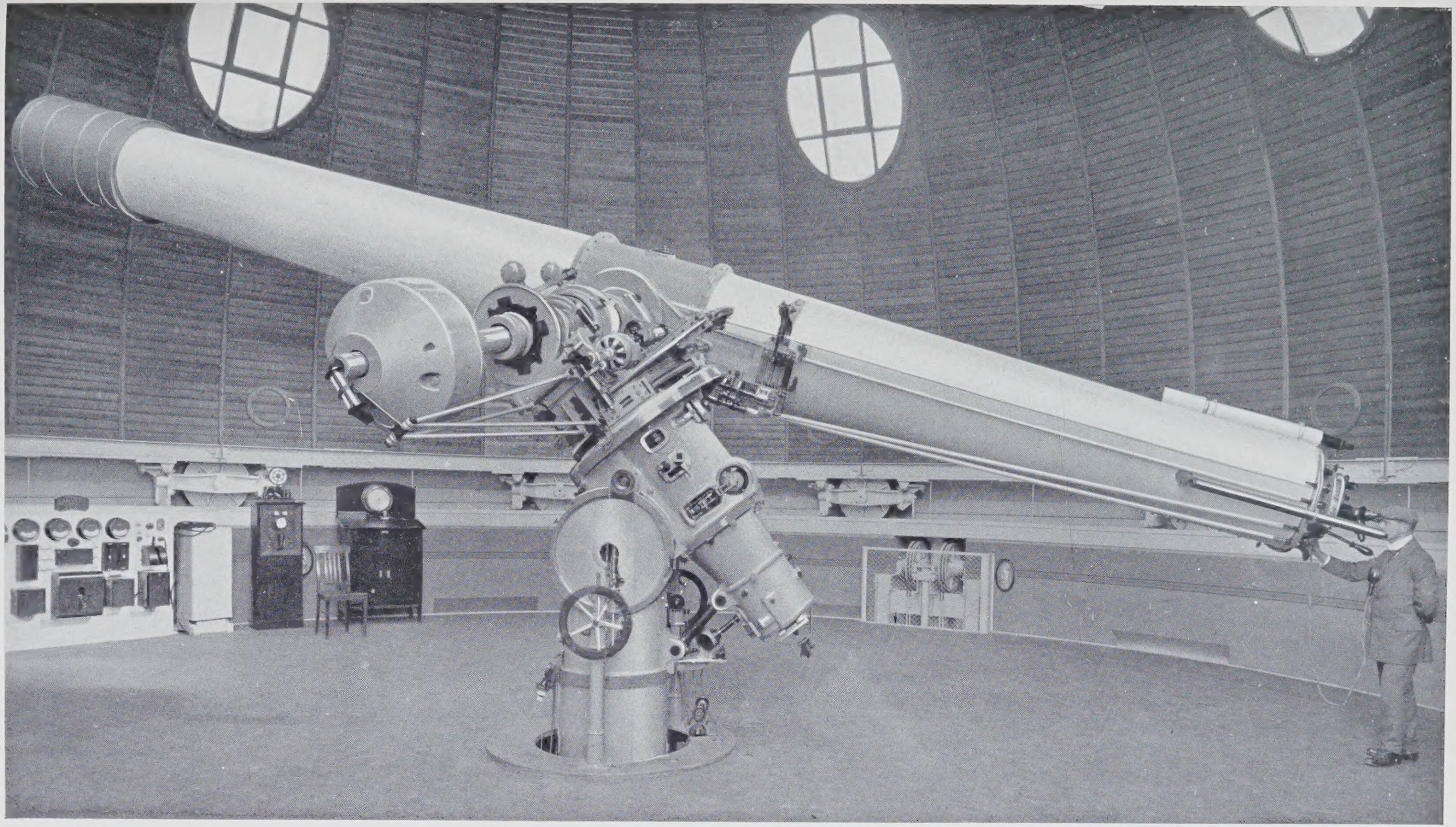


Abb. 27. Refraktor der Sternwarte Berlin-Babelsberg. 65 cm Öffnung, 11 m Brennweite. Lage in der Nähe des Horizonts. Höchste Stellung des Schwebefußbodens.

Fr. Meyer, Über die Entwicklung der astronomischen Instrumente.

Verlag von Julius Springer in Berlin.

man im allgemeinen dadurch begegnet, daß man den Standort des Beobachters auf ein Podest verlegt, das zwischen den Spaltbindern an die Kuppel gehängt wird, und nach oben und seitlich oder gleich parallel zur Kuppelfläche bewegt werden kann. Beim Spiegelteleskop Hamburg-Bergedorf ist der erste, in Berlin-Babelsberg der zweite Weg eingeschlagen (Abb. 25). Damit ist dem Beobachter aber noch nicht die Möglichkeit gegeben, in allen Lagen des Instrumentes den Okular- bzw. Kassettenteil zu erreichen. Es muß das Oberteil des Spiegelrohres, das den Gegenspiegel trägt, noch drehbar eingerichtet werden, damit die Beobachtungseinrichtung stets auf das Podest bzw. auf den Beobachter zu gedreht werden kann.

Soll das Cassegrainsystem Anwendung finden, so ist der schräge Gegenspiegel zu beseitigen und dafür der Konvexspiegel einzubauen. Dieser verlängert die Brennweite von 8,4 m auf eine Äquivalentbrennweite von 24 m. Die Brennebene würde dann dicht hinter dem Hauptspiegel liegen und es müßte dieser eigentlich in der Mitte durchbohrt werden. Da nun aber ein Durchbohren eines so großen und dicken Glaskörpers nicht ganz gefahrlos ist, verzichtete man darauf und baute vor den Hauptspiegel wieder einen kleinen Planspiegel unter 45$^0$ gegen die optische Achse ein, der die Lichtstrahlen wieder wie der obere Newtonspiegel in die an der Wand des unteren Rohrendes angebaute Beobachtungs- und Kassetteneinrichtung reflektierte. Da der Beobachtungsort sich hier sehr nahe dem Schnittpunkt beider Achsen befand, verzichtete man auf eine Verdrehung des ganzen Unterteils. Das Arbeiten mit dem Cassegrainsystem beschränkt sich nun nicht auf Beobachtung und Photographie, sondern ein wesentlicher Teil ist der Spektrographie gewidmet. Es ist daher auch hier ein großer Spektrograph vorgesehen, der gegenüber der Deklinationsachse angeordnet ist. Ihm wird das Licht durch denselben kleinen, schrägen Planspiegel zugeführt, der vor dem großen Hauptspiegel montiert und zu diesem Zwecke drehbar angeordnet ist.

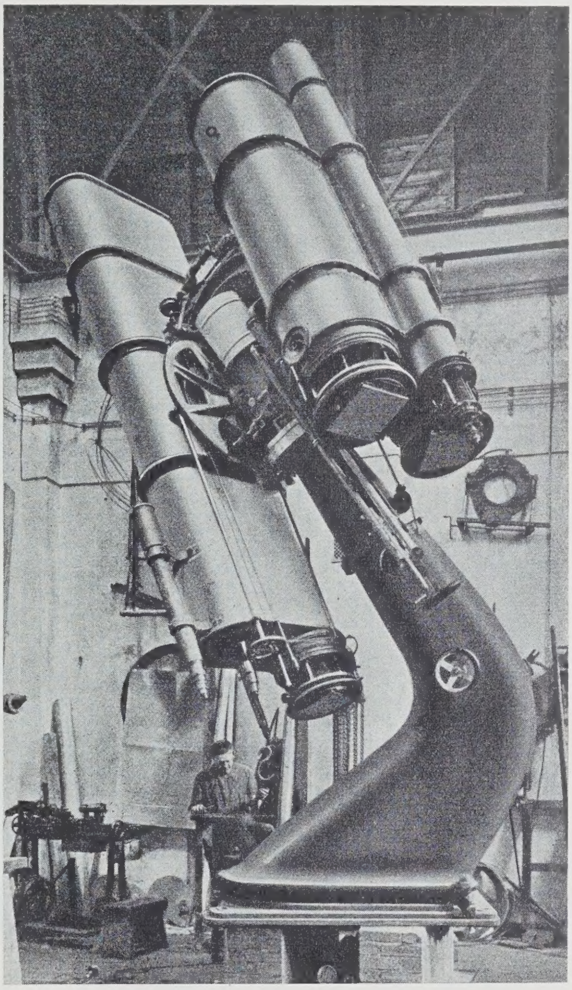


Abb. 28. Großer Astrograph der Sternwarte Hamburg-Bergedorf, nach dem Stifter Lippert-Astrograph genannt.
Visuell: 240 mm Öffnung, 3,4 m Brennweite,
Leitrohr 200 mm Öffnung, 2,7 m Brennweite
photogr.: U. V. Triplet 330 mm Öffnung, 3,4 m Brennweite,
Triplet 300 mm Öffnung, 1,5 m Brennweite,
Petzval 300 mm Öffnung, 1,5 m Brennweite
von Carl Zeiss, Jena.

Die Vereinigung beider Systeme in einem Instrument zwingt beim Übergang vom

einen zum andern, wie schon erwähnt, zur Auswechslung der beiden kleinen Reflektionsspiegel und damit jedesmal zur Neujustierung der ganzen Optik. Man hatte sich daher dazu entschlossen, nicht nur die Spiegel, sondern gleich die ganzen Oberteile auszuwechseln. Durch einen einfachen Laufkrahn wird das eine Oberteil abgehoben und dafür das andere angesetzt. Für beide Oberteile sind einfache Wagen vorgesehen, auf denen sie bei Nichtgebrauch gelagert und transportiert werden können. In diesen Oberteilen verbleiben die Spiegel und Beobachtungseinrichtungen genau justiert, und es kann sofort nach Auswechslung desselben mit dem neuen System ohne Nachjustie-

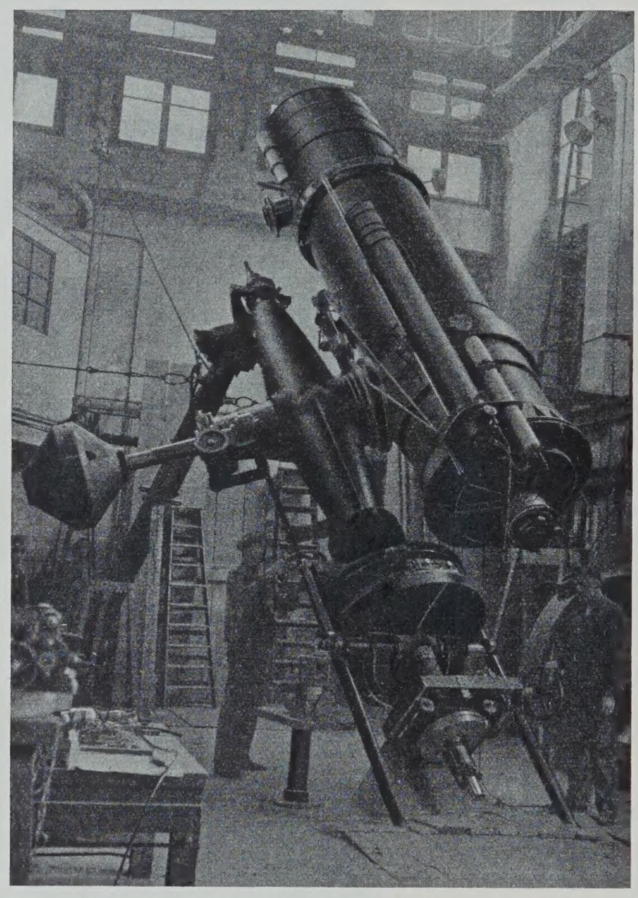


Abb. 29. Reflektor 100 cm Öffnung, 5 m Brennweite der Sternwarte Mailand-Brera.
Englische Achsenmontierung mit Entlastung der Deklinationsachse.
Kardanische Unterstützung der Stundenachsenlager von Carl Zeiss, Jena.

rung gearbeitet werden. Um die Arbeit einer neuen Balancierung zu ersparen, sind beide Oberteile genau gleich schwer ausgeführt, und ihr Schwerpunkt liegt in gleicher Entfernung von der Anschraubfläche. Die Auswechslung läßt sich bequem in einer halben Stunde ausführen, so daß nötigenfalls in einer Nacht mit beiden Systemen gearbeitet werden kann.

Neben dem Spezial-Zeiss-Typ sind noch verschiedene andere Instrumente entstanden, die hier noch Erwähnung finden sollen. Da ist zuerst der große Refraktor der Sternwarte Berlin-Babelsberg (Abb. 26, S. 76; Abb. 27, Tafel 4). Die Öffnung des Objektivs beträgt 65 cm, die Brennweite 11 m. Bemerkenswert ist bei dieser Konstruktion die Art der Entlastung der Achsen. Die beiden Achsen sind wieder hohl

ausgeführt. Die massive Stahlachse in Deklination unterstützt mit ihrem einen Ende vermittelst einer Gabel das Rohr und trägt am anderen Ende das Gegengewicht. Es wird auch hier das Gesamtgewicht von Rohr und Gegengewicht in der Mitte der Deklinationsachse, wo die Stahlachse wieder durch eine kugelförmige Verstärkung mit der Deklinationsachse verbunden ist, vereinigt. Auch hier wird die letztere wieder durch ein großes Kugellager umschlossen, das auf einer im Innern der hohlen Stundenachse angeordneten Stahlachse kardanisch beweglich aufgebaut wurde. Die Entlastung erfolgt in diesem Fall aber nicht durch ein großes Gewicht, sondern durch entsprechend angeordnete, außerordentlich kräftige Biegungsfedern, die den Entlastungsdruck nach oben erzeugen. Einen gleichen Refraktor hat die Sternwarte Tokio und die Sternwarte Belgrad erhalten.

Eine Kniemontierung mit einem Unterbau ähnlich dem Repsoldschen hat Zeiss auf Wunsch des Herrn Prof. Schorr für die Sternwarte Hamburg-Bergedorf konstruiert und gebaut. Das Instrument (Abb. 28, S. 77) trägt den optischen Teil zu beiden Seiten der Stundenachse. Auf der einen Seite ist ein photographischer Normalrefraktor von 33 cm Öffnung und 3,4 m Brennweite mit Leitrohr von 24 cm Öffnung und 3,4 m Brennweite, auf der anderen sind zwei photographische Kameras von 30 cm Öffnung und 1,5 m Brennweite und ein Leitrohr von 20 cm Öffnung und 2,7 m Brennweite angebaut. Beide Systeme balancieren sich gegenseitig aus. Um eine verschiedene Durchbiegung der Fernrohre an beiden Seiten nach Möglichkeit zu verhindern, sind die Fernrohre an jeder Seite in einem gemeinschaftlichen Gehäuse zusammengefaßt und diese untereinander durch eine schwere, kräftige Stahlgußkonstruktion miteinander verbunden. Entgegen der sonst üblichen Anordnung der Deklinationsachse, bei welcher der optische Teil mit derselben fest verbunden ist, und in Lagern ruht, die auf der Stundenachse aufmontiert sind, ist in diesem Fall der optische Teil mit Lagern ausgerüstet und dreht sich auf der fest mit der Stundenachse verbundenen Deklinationsachse. Auch hier sind beide Achsen nach der Zeisskonstruktion entlastet.

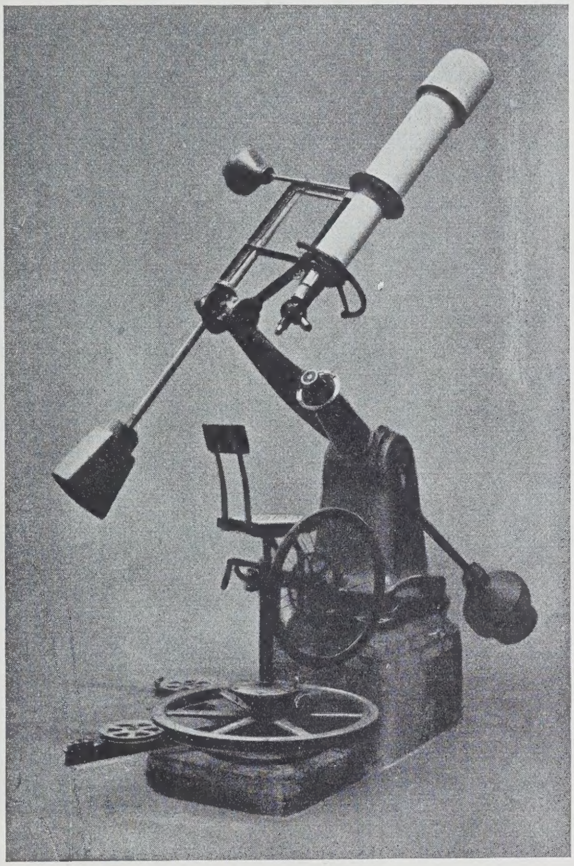


Abb. 30. Kometensucher (Parallaktisch aufgestellt).
20 cm Öffnung, 1,20 m Brennweite.
Zeissmontierung mit Entlastung beider Achsen.
Das Okular im Schnittpunkt beider Achsen und Drehvorrichtung der Kuppel
vom Sitz des Beobachters aus.

Die Sternwarte Mailand-Brera erhielt einen Reflektor von 100 cm Öffnung und 5 m Brennweite in englischer Achsenmontierung (Abb. 29). Der Reflektor ist ganz

analog dem Babelsberger Reflektor nach dem Newton- und Cassegrainsystem eingerichtet. Erwähnenswert ist hier die Entlastung der Deklinationsachse. Auf eine Entlastung der Stundenachse hat man verzichtet, da eine Verbiegung derselben bei englischer Aufstellung belanglos ist. Dagegen ist das untere Lager entlastet, um einen leichten Gang zu gewährleisten; der obere Lagerzapfen läuft direkt in Kugellagern. Eine kardanisch bewegliche Unterstützung beider Stundenachsenlager ermöglicht eine sehr einfache Montage und verhindert ein Klemmen bei der Korrektion in Azimut und Polhöhe, das sonst sehr häufig unangenehm empfunden wird.

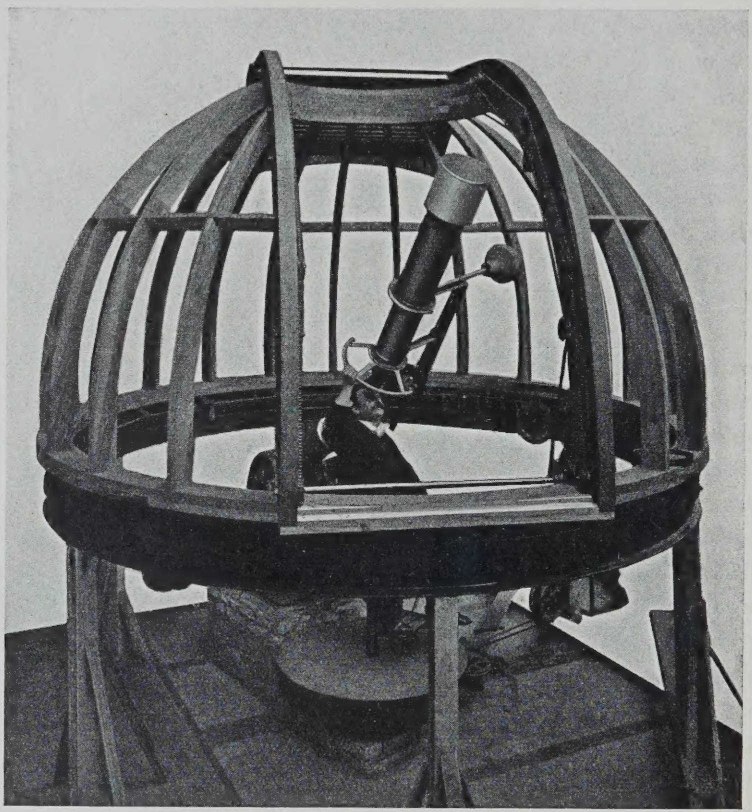


Abb. 31. Kometensucher der Sternwarte La Plata, aufgestellt im Kuppelgerüst in der Werkstätte Carl Zeiss, Jena.

Zum Schluß sei noch einer kleineren Montierung gedacht, die dadurch interessant ist, daß hier das Okular wieder im Schnittpunkt beider Achsen liegt. Es ist dieses ein Kometensucher (Abb. 30) von 20 cm Öffnung und 1,5 m Brennweite. Beide Achsen sind entlastet. Durch die Verlegung der Deklinationsachse nach der Seite ist es dem Beobachter möglich, jeden Punkt des Himmels zu erreichen, ohne sich von seinem Drehstuhl zu entfernen. Die verhältnismäßig kleine Drehkuppel kann durch ein seitlich am Stuhl angebrachtes Handrad schnell und leicht in jede gewünschte Stellung gebracht werden (Abb. 31).

## II. Die Uhrwerke und Antriebsvorrichtungen.

Neben der Güte der Optik, die natürlich das Haupterfordernis für ein astronomisches Instrument ist und bleibt, ist dem Bewegungsmechanismus die größte Aufmerksamkeit zu widmen. Bei jedem Instrument muß der bewegliche Teil vermittels

einer Grobbewegungseinrichtung leicht und schnell in die gewünschte Richtung gebracht und alsdann in Stunde mit einer Uhrwerksbewegung und in Deklination fest mit dem Achsenlager verklemmt werden können. Außerdem ist aber zwischen dem beweglichen Teil und der Uhrwerksbewegung in Stunde einerseits und dem Deklinationsachsenlager andererseits je eine Feinbewegungseinrichtung einzuschalten, mit der man, ohne den Uhrwerksgang zu beeinflussen, die Lage des beweglichen Teils in beiden Richtungen korrigieren kann.

Die Grobbewegung erfolgt bei kleinen Instrumenten einfach durch Einstellen des Rohres mit der Hand; bei größeren wird ein Rädervorgelege vorgesehen, das durch Handräder betätigt wird. Bei ganz großen Instrumenten ist es üblich, außer dem letzteren noch einen elektrischen Antrieb anzuwenden. Auch bei den großen Spiegelteleskopen in Hamburg-Bergedorf und Berlin-Babelsberg sind solche elektrische Antriebe vorgesehen. Je ein halbpferdiger Motor treibt vermittels eines Schneckenvorgeleges das große Instrument in Stunde und Deklination in kurzer Zeit in jede gewünschte Position. Damit diese Vorgelege während der Uhrwerksbewegung in Ruhe bleiben, d. h. nicht mitlaufen, sind zwischen die großen Schneckenräder des Vorgeleges und den Achsen automatische Kupplungen eingebaut, die nur in Wirksamkeit treten, wenn die Handräder oder der elektrische Antrieb in Tätigkeit gesetzt werden, aber außer Wirksamkeit treten, wenn das Instrument durch das Uhrwerk und die Feinbewegungen angetrieben wird. Diese Anordnung hat sich als notwendig erwiesen, da die Uhrwerksbewegung durch die Mitnahme der Grobbewegungseinrichtung störend beeinflußt wird. Der unvermeidliche tote Gang und eine gewisse Federung in derselben verursacht ein ruckweises, nicht gleichmäßiges Mitnehmen der Apparatur und damit ein ganz geringes, aber doch merkbares Zucken des ganzen Instrumentes.

Der schwierigste Teil der Mechanik eines astronomischen Instruments ist natürlich die automatische Bewegungseinrichtung in Stunde, das Uhrwerk, die das Fernrohr so antreibt, daß es dem sich scheinbar fortbewegenden Himmelskörper mit allermöglichster Genauigkeit folgt. Die Anforderungen an diese Genauigkeit sind seit der Einführung der Photographie in die Astronomie außerordentlich gewachsen. Während man sich zu Fraunhofers Zeiten schon zufrieden gab, wenn der Stern während einer längeren Zeit im Gesichtsfeld des Fernrohres verblieb, wird heute eine Genauigkeit des Ganges verlangt und angestrebt, bei der der Stern während längerer Zeit genau auf dem Faden im Okular bleibt.

Wenn man bedenkt, daß einzelne Sternaufnahmen Expositionszeiten von mehreren Stunden erfordern, während welcher der Beobachter ständig am Okular bleiben und den Gang kontrollieren muß, da jede Gangabweichung Bildfehler auf der Platte erzeugt, so kann man ermessen, wie mühevoll ein Arbeiten mit einem ungenau gehenden Uhrwerk für den Astronomen sein muß. Muß er doch schon die unvermeidlichen Unregelmäßigkeiten, die durch die verschiedene Refraktion der Luft beim Durchgang durch verschiedene Beobachtungshöhen entstehen, durch die Feinbewegungen eliminieren. Diese Arbeit ist aber gegenüber einer ständigen Korrektion des Uhrwerksganges eine verhältnismäßig leichte. Die Beeinflussung des Ganges durch die Refraktion wirkt immer nur in einem Sinne entweder dauernd im positiven oder dauernd im negativen Sinne, je nachdem im Osten oder im Westen beobachtet wird. Es ändert sich der Sinn nur beim Durchgang durch den Meridian, es braucht also auch immer nur regelmäßig in einem Sinne korrigiert zu werden, während bei einem unregelmäßigen Uhrwerksgang die Korrektion ganz unverhofft, bald im negativen, bald im positiven Sinne geschehen muß.

Der Konstruktion der Uhrwerke hat man daher zu allen Zeiten die größte Aufmerksamkeit zugewandt, und es sind mit der Zeit die verschiedensten Arten der Regulierung derselben entstanden, die die Aufgabe mehr oder weniger gut lösten, und von denen die wichtigsten in Nachfolgendem beschrieben werden sollen.

Bevor aber an die Beschreibung dieser Konstruktionen gegangen wird, muß klargestellt werden, was ein gutes astronomisches Uhrwerk bzw. der Regulator desselben eigentlich leisten muß, und da ergibt sich folgende Forderung: Das Uhrwerk muß nicht nur einen durchaus regelmäßigen, sondern auch einen genauen, der Erdbewegung entsprechenden Gang haben, außerdem aber automatisch ohne merkbare Beeinflussung seines Ganges mehr oder weniger Arbeit freigeben, je nachdem der Antrieb des Instrumentes diese erfordert. Diese Bedingungen sind besonders bei großen Instrumenten nicht leicht zu erfüllen, da hier naturgemäß die Veränderlichkeit der notwendigen Antriebsarbeit nicht klein ist und sein kann. Nicht nur eine geringe ungenaue Balancierung, eine veränderliche Schmierung, sondern auch Temperatureinflüsse usw. üben unvermeidlich einen verschiedenen Widerstand gegen die Antriebskraft aus.

Es ergibt sich aus dieser Betrachtung, daß ein absolut gleichmäßiger Gang unter diesen Umständen überhaupt nicht erzielt werden kann. Muß doch schon von vornherein eine gewisse kleine Unregelmäßigkeit zugelassen werden, da eine automatische Regulierung nur ausgelöst werden kann, wenn eben eine gewisse Änderung in der Bewegung schon eingetreten ist. Es ist daher die Hauptaufgabe für die Konstruktion des Regulators darin zu suchen, diese Änderung so klein als irgend möglich zu halten, d. h. den Gleichförmigkeitsgrad bei verschiedenster Beanspruchung so hoch als möglich zu schrauben. Abgesehen von einigen Konstruktionen, bei denen Windflügel als Regulierelement Verwendung fanden und natürlich ganz unzureichende Resultate lieferten, beruhen alle astronomischen Regulatoren auf Benutzung derselben Naturkraft, der Zentrifugalkraft einer rotierenden Masse, deren Größe bekanntlich bei gleichbleibender Masse und gleichbleibendem Abstand derselben von der Drehachse nur von der Umdrehungszahl und umgekehrt bei gleichbleibender Masse und gleichbleibender Umdrehungszahl nur vom Abstand der Masse von der Drehachse abhängig ist.

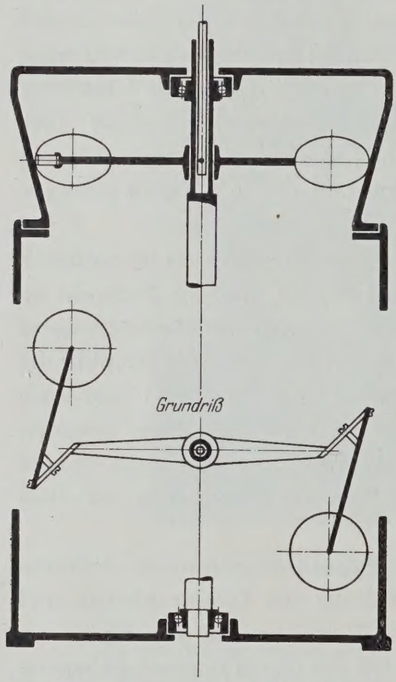


Abb. 32. Schema des Fraunhoferschen Zentrifugalregulators.

Diese Eigenschaft der Zentrifugalkraft ist in den verschiedensten Anordnungen nutzbar gemacht worden.

Fraunhofer, der als erster einen Zentrifugalregulator für seinen großen Refraktor, den er für die Dorpater Sternwarte gebaut hatte, konstruierte und demnach als Erfinder des automatischen Fernrohrantriebes angesprochen werden muß, benutzte zwei kleine Gewichte, die federnd an den beiden Enden eines Doppelhebels angebracht waren, als Regulierelement (Abb. 32). Der Doppelhebel saß fest auf einer vertikalen Achse, die durch einen Gewichtsaufzug in Drehung versetzt wurde. Die Regulierung erfolgte dadurch, daß die Gewichte bei einer bestimmten Geschwindigkeit so weit

nach außen flogen, daß sie eine zur Drehachse konzentrische, ringförmige Wand berührten und hier eine Reibung verursachten. Diese Reibung wirkte bremsend auf die Geschwindigkeit und verhinderte dadurch eine Überschreitung der festgesetzten Drehzahl. Sollte dieser Regulator nun bei einem etwas schwereren Gang des Instrumentes Arbeit freigeben, so mußte er bei leichterem Gang Arbeit vernichten. Diese Arbeitsvernichtung konnte natürlich nur dadurch geschehen, daß die Gewichte mit größerer Kraft gegen die Wand drückten und dadurch eine größere Reibung erzeugten, und diese größere Kraft konnte nur dadurch erzeugt werden, daß die Drehzahl erhöht wurde. Es entsprach also jedem Widerstand eine entsprechende Drehzahl des Regulators. Je gleichmäßiger der Widerstand beim Gang des Instrumentes war, desto gleichmäßiger war natürlich die Drehgeschwindigkeit. Man nennt diese Art der Regulatoren statische Regulatoren. Die Einstellung der genauen Drehzahl erreichte Fraunhofer dadurch, daß er die ringförmige Wand konisch ausführte und die Drehachse mit den Reguliergewichten in Richtung der Achse verstellbar machte. Eine Verstellung derselben nach oben bzw. nach unten zwang die Gewichte mehr oder weniger weit nach außen zu fliegen, bis sie die Wand berührten, wodurch eine höhere bzw. niedrigere Geschwindigkeit erzielt wurde. Um die Empfindlichkeit zu steigern, zerlegte Fraunhofer die nötige Antriebskraft in zwei Teile. Der eine Teil wurde durch ein zweites Aufzugswerk erzeugt, das ohne Reguliereinrichtung den größten Teil des Widerstandes im Gang des Instrumentes überwand, so daß für den zweiten Teil des Uhrwerks nur noch eine geringe Antriebsarbeit übrig blieb. Der Ausgleich der Unregelmäßigkeiten blieb jedoch nach wie vor dem Uhrwerk überlassen. Fraunhofer hat mit seinem Uhrwerk für damalige Begriffe sehr gute Erfolge erzielt, so daß es Jahrzehnte gedauert hat, ehe die Konstrukteure Änderungen wagten.

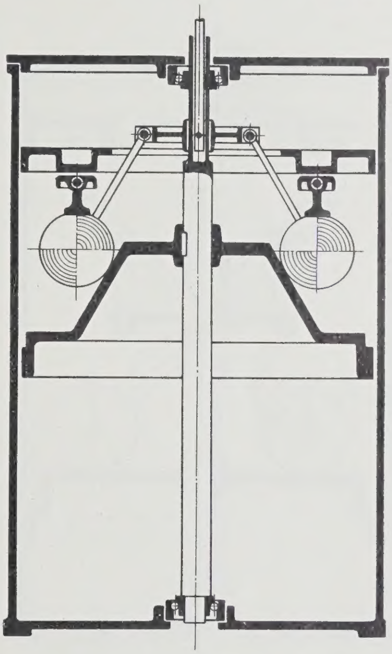


Abb. 33. Schema des Cookeschen Regulators.

Der erste war wohl Cooke in England, der allerdings das Prinzip Fraunhofers, den Reibungsregulator, beibehielt, aber die Beeinflussung der Zentrifugalkraft nicht mehr durch Federn erzielte, sondern durch die Schwerkraft der schwingenden Massen (Abb. 33). Er hängte zu dem Zweck eine Anzahl kurzer Hebel, die am Ende ein kugelförmiges Gewicht trugen, an einer auf einer vertikalen Achse montierten Scheibe pendelnd auf. Bei der Drehung der Achsen stellten sich die Gewichtshebel bei einer bestimmten Umdrehungsgeschwindigkeit in einen bestimmten Winkel zur Achse ein und zwar war dieser Winkel gleich demjenigen, den die Resultierende aus den Kraftrichtungen der horizontal wirkenden Zentrifugalkraft und dem vertikal wirkenden Gewicht der Metallkugeln mit der Drehachse bildete. Jede Geschwindigkeitsänderung ergab dabei einen anderen Winkel. Wurde nun dieser Winkel dadurch begrenzt, daß die Bewegung der Kugeln nach oben durch Einführung eines Schleifringes, an den dieselben anstießen, gehemmt wurde, so entstand auch hier ganz wie bei dem Fraunhoferschen Regulator eine Reibung, die bremsend wirkte und eine Erhöhung der Drehzahl verhinderte. Die Veränderung der Drehzahl erfolgte auch hier durch Heben

und Senken der Drehachse mit den Kugeln, wodurch der Winkel, den Hebel und Achse miteinander bildeten, und damit die Drehzahl geändert wurde. Dieser Regulator hat also theoretisch absolut keinen Vorteil dem Fraunhoferschen gegenüber, trotzdem hat er eine außerordentlich große Verbreitung gefunden. Es ist dieses wohl darauf zurückzuführen, daß die Ausführung der Reibfläche als horizontaler, flacher Ring die Einführung von Gleitbacken gestattete, die aus geeignetem Material hergestellt, eine größere Reibungsarbeit verrichten konnten und dadurch eine etwas größere Gleichförmigkeit gegenüber den Widerstandsänderungen im Gang des Instrumentes gewährleisteten. Ein großer Schritt war aber mit der Einführung des Cookeschen Regulators nicht getan, war er doch wie der Fraunhofersche ein statischer, d. h. einer Erhöhung der Arbeitsleistung entsprach eine Erhöhung der Drehzahl.

Da auf diesem Wege nicht vorwärts zu kommen war, ging das Bestreben der Konstrukteure dahin, einen astatischen Regulator zu konstruieren, der bei gleicher Drehzahl verschiedene Leistungen hatte. Das klingt im ersten Augenblick paradox, die Ausführung ist aber sehr wohl möglich, wenn beispielsweise der Zentrifugalkraft einer rotierenden Masse, die einen verschiedenen Abstand von der Drehachse annehmen kann, eine variable Kraft entgegengestellt wird, die der verschiedenen Größe der ersteren bei gleicher Umfangsgeschwindigkeit und den verschiedenen Abständen der Masse von der Drehachse das Gleichgewicht hält, und diese Kraft benutzt wird, das Mehr oder Weniger .der notwendigerweise zu viel erzeugten Arbeitsleistung abzubremsen. Es läßt sich dieses in folgender Weise erzielen. Wie schon oben bemerkt, hängt die Größe der Zentrifugalkraft einer sich um eine Achse drehenden Masse bei gleichbleibender Winkelgeschwindigkeit nur ab von dem Abstand des Massenschwerpunktes von der Achse, und zwar ist sie genau proportional demselben. Weiter ist bei einer durch eine Kraft belasteten Feder die Durchbiegung genau proportional der Kraft. Konstruiert man nun eine Feder, die mit einer Kraft beansprucht, die gleich der Zentrifugalkraft einer Masse ist, die mit einer bestimmten Winkelgeschwindigkeit rotiert und einen bestimmten Abstand z. B. $R$ von der Drehachse hat, eine Durchbiegung gleich dem Abstand $R$ hat, so hält diese Feder, entsprechend angeordnet, der Zentrifugalkraft bei gleicher Umdrehungszahl und bei jedem Abstand der Masse von der Drehachse stets das Gleichgewicht. Damit ist die Grundbedingung für den astatischen Regulator gegeben. Bei entsprechend genauer Ausführung wird somit die rotierende Masse bei einer bestimmten Geschwindigkeit jeden beliebigen Abstand von der Achse einnehmen können. Die geringste Erhöhung der Geschwindigkeit wird den Ausschlag momentan bis zu einer beliebigen mechanischen Begrenzung vergrößern, während die geringste Unterschreitung ein völliges Zurückgehen der Massen in ihre Nullage hervorruft. Die Zentrifugal- bzw. die Federkraft schwankt dabei zwischen Null und einem Maximum. Es erübrigt sich nun nur noch, diese variablen Kräfte in geeigneter Weise so zu verwenden, daß sie den Überschuß der antreibenden Kräfte,

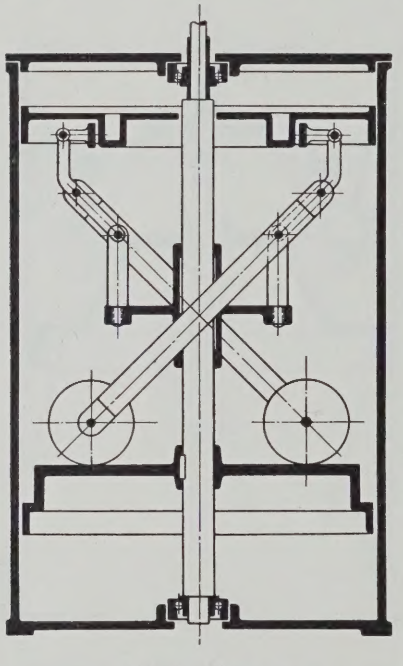


Abb. 34. Schema des pseudoastatischen amerikanischen Regulators.

die durchweg durch einen Gewichtsaufzugsapparat erzeugt werden, über die benötigten Kräfte vernichten, um einen einwandfreien astatischen Regulator zu erhalten.

Ehe nun aber auf den rein astatischen Regulator weiter eingegangen wird, soll hier noch eine in Amerika weit verbreitete Konstruktion eines verbesserten statischen Regulators Erwähnung finden (Abb. 34). Sie ist zuerst von der Firma Warner & Swasey angewandt worden und hat gegenüber dem Cookeschen wesentliche Vorteile. Der Regulator hat mit dem letzteren die einarmigen Hebel mit dem Kugelgewicht am Ende gemein. Es werden jedoch nur zwei einander kreuzweis gegenüberliegende Hebel angeordnet. Die Hebel sind erheblich verlängert und finden ihren Aufhängepunkt nicht an derselhen Seite der Drehachse, an der sich die Kugeln befinden, sondern an der gegenüberliegenden; auch erfolgt die Bremsung nicht direkt durch die Kugeln an einer horizontalen Ringfläche, sondern durch Vermittelung von einarmigen Hebeln an einer Zylinderfläche. Die Drehpunkte der Kugelhebel sind nicht fest mit der Achse verbunden, sondern befinden sich ungefähr in der Mitte dieser Hebel, die entsprechend gebogen sind und deren unterer Drehpunkt erst mit der Achse fest verbunden ist. Das obere Ende dieser Hebel trägt die Bremsbacken, die gegen die Zylinderfläche reiben. Der untere Teil dieser Hebel — vom unteren festen Drehpunkt bis zu dem der Kugelhebel ist so gelegt, daß die Verbindungslinie beider Drehpunkte in derselben Richtung liegt, die der Kugelhebel bei einer bestimmten Drehzahl automatisch annimmt. Diese liegt etwas unter derjenigen, die dem Instrument den richtigen Gang verleiht. Bei der ersteren Drehzahl erfolgt also noch keine Einwirkung der Zentrifugalkraft auf den Bremsbacken, da die Resultierende aus Zentrifugalkraft und Gewicht in Richtung des Bremshebels liegt. Erst bei erhöhter Drehzahl heben sich die Kugeln — es entsteht ein Drehmoment um den unteren Drehpunkt — und eine Bremsung tritt ein. Selbstverständlich ist die Bremswirkung um so höher, je größer die Drehzahl wird. Durch die Verlängerung der Hebel und die Verlegung der Drehpunkte auf die gegenüberliegende Seite wird nun aber erreicht, daß die Steigerung der Zentrifugalkraft gegenüber dem Cookeschen Regulator bei gleicher Winkeländerung der Kugelhebel also gleicher Geschwindigkeitsänderung durch die erhebliche Vergrößerung des Abstandes der Kugeln von der Drehachse erheblich größer, die Leistung also erheblich erhöht und dadurch der Gleichförmigkeitsgrad entsprechend erhöht wird. Trotzdem bleibt der Regulator ein statischer, es gehört immer noch eine veränderliche Geschwindigkeit zu einer veränderlichen Leistung. Er ist aber gewissermaßen ein Zwischending zwischen dem rein statischen und dem rein astatischen und wird daher pseudoastatisch genannt.

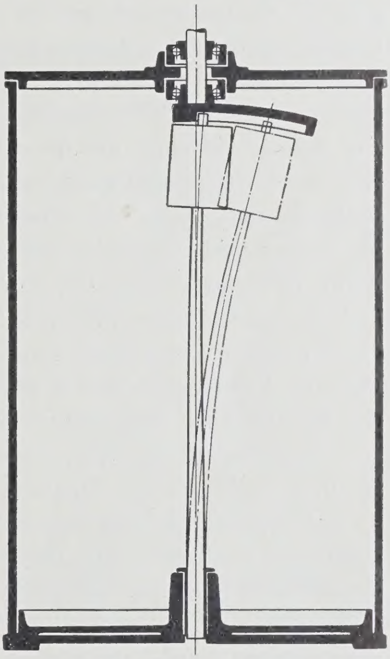


Abb. 35. Repsolds rein astatischer Federpendelregulator. Schema.

Die einfachste Lösung für den rein astatischen Regulator hat Repsold mit seinem sogenannten Federpendelregulator (Abb. 35) gefunden, der eine außerordentlich hohe Gleichmäßigkeit im Gange erzeugt. Er benutzte eine federnde, runde Stahlstange, die in einer Grundplatte genau vertikal fest eingespannt war und am oberen Ende ein Gewicht trug. Das äußerste durch das Gewicht hindurchragende Ende der Stahl-

stange wurde in einem Schlitz geführt, der radial an einem mit der Antriebsachse fest verbundenen Querstück angebracht war. Die letztere lag natürlich konzentrisch zum Einspannende der Stahlstange. Die Enden des Schlitzes begrenzten die Endlagen der federnden Stange, und zwar verhinderte das äußerste Ende ein zu weites Ausschwingen des Gewichtes nach außen und damit eine Überbeanspruchung der federnden Stahlstange und das innere Ende des Schlitzes ein Einstellen in die Mittellage, d. h. die Vertikallage der Stange. Sie wurde also von vornherein etwas durchgebogen. Wurde die Antriebsachse in Drehung versetzt, so wurde das Gewicht um die Vertikalachse geschwenkt. Es entstand eine Zentrifugalkraft, die das Gewicht nach außen zu schleudern suchte, dieses verhinderte die Gegenkraft der federnden Stange so lange, bis eine bestimmte Drehzahl bzw. Winkelgeschwindigkeit erreicht und dadurch eine Zentrifugalkraft erzeugt wurde, die gleich der Gegenkraft war, die die federnde Stange ausübte. In diesem Moment trat Gleichgewicht der Kräfte für jede Lage des Gewichtes ein, da bei dem Ausschwingen des Gewichtes die Zentrifugalkraft in genau demselben Maße zunahm, wie die Spannung der durchgebogenen federnden Stange. Wurde die Drehzahl zwangsweise um ein Geringes überschritten, so schlug die Stange sofort außen in dem Führungsschlitz an, und wurde sie ebenso um ein Geringes unterschritten, so ging die Stange zurück und es erfolgte der Anschlag am inneren Ende des Schlitzes. Damit war die reine Astasie des Regulators erreicht. Die verschiedene Bremsleistung desselben wurde aber durch die Arbeit, die im Innern der Stange durch die Rotation erzeugt wurde, hervorgebracht. In jeder Feder entsteht bei einer Verbiegung eine Art innerer Reibung, die durch Verschiebung der Moleküle aneinander erklärt wird. Bei einer frei ausschwingenden, am Ende durch eine Masse belasteten einfachen Biegungsfeder macht sich diese Reibung dadurch bemerkbar, daß die Amplitude auch im luftleeren Raum sehr schnell abnimmt. Wird nun eine solche Feder um ihre Achse in Rotation versetzt, so schwingt sie bei einer bestimmten Winkelgeschwindigkeit ebenso frei aus, wie eine feststehende Feder und wird sich, vorausgesetzt daß die Winkelgeschwindigkeit genau konstant bleibt, genau wie die frei ausschwingende Feder nach bestimmter Zeit in die Nullage zurückbegeben. Sie wird dabei aber der drehenden Kraft keinen Widerstand entgegensetzen.

Anders wird es aber, wenn die Feder wie im vorliegenden Falle fest eingespannt ist, d. h. nicht an der Rotation teilnimmt.

Es entsteht dann bei gleichem Ausschlag des Gewichtes, also gleicher Beanspruchung der Feder, eine dauernde Verschiebung der Moleküle innerhalb der Feder in der Drehrichtung des Gewichtes und dadurch eine dauernde innere Reibung, die der drehenden Kraft entgegenwirkt und sich in Wärme umsetzt. Es wird also dauernd eine gewisse Arbeit verbraucht, die um so größer ist, je größer der Ausschlag des Gewichtes, d. h. die Verbiegung und damit die innere Beanspruchung der Stange ist. Die Wirkungsweise des Regulators unterscheidet sich also von der der statischen Regulatoren dadurch, daß die Drehzahl in bestimmten Grenzen bei verschiedenen Leistungen konstant ist. Wird Arbeit frei, d. h. geht das Instrument leichter, so tritt nur eine momentane Beschleunigung des Regulators ein, das Gewicht schlägt weiter aus, und zwar so weit, daß die dadurch gesteigerte, innere Mehrarbeit der freigewordenen gleich ist. Dann stellt sich sofort wieder die normale Geschwindigkeit ein. Das Umgekehrte tritt ein, wenn Arbeit gefordert wird, d. h. das Instrument schwerer geht. Die Zeit, in der sich dieses neue Gleichgewicht einstellt und die während derselben eintretende Beschleunigung bzw. Verzögerung sind außerordentlich kurz bzw. gering, so daß der Gleichförmigkeitsgrad außerordentlich hoch ist.

Trotzdem ist dieser Regulator nicht sehr verbreitet, man findet ihn fast nur bei Repsoldschen Instrumenten. Der Grund dafür liegt in der verhältnismäßig geringen Leistung. Die innere Arbeit ist eben nicht sehr groß. Außerdem wird aber die Stahlstange ganz außerordentlich stark beansprucht, und es erfolgt unweigerlich nach gewisser Zeit ein Bruch der Stange, und es muß diese ersetzt werden. Endlich wird durch das einseitige Ausschlagen des Gewichtes der Boden bzw. das Fundament des Regulators in Mitschwingung versetzt. Der Standort des Regulators muß daher sehr vorsichtig gewählt werden, damit das Instrument nicht auch in Schwingungen versetzt wird.

Übrigens sei hier noch darauf aufmerksam gemacht, daß der Name Federpendelregulator häufig zu der Meinung Anlaß gibt, als sei eine Kreispendelwirkung an dem genauen Gang desselben beteiligt. Dieses ist absolut nicht der Fall. Die Drehzahl hängt nicht nur von der Länge der Stange ab, wie bei einem reinen Pendel, sondern von der Größe des Gewichtes und der Dimensionierung der Stahlstange. Eine Erhöhung des Gewichtes bei gleichbleibender Länge der Stahlstange ergibt eine Verlangsamung des Ganges und umgekehrt. Die Länge der Stahlstange richtet sich nach dem Gewicht und umgekehrt. Man kann daher bei gleicher Stangenlänge die verschiedensten Drehzahlen erhalten.

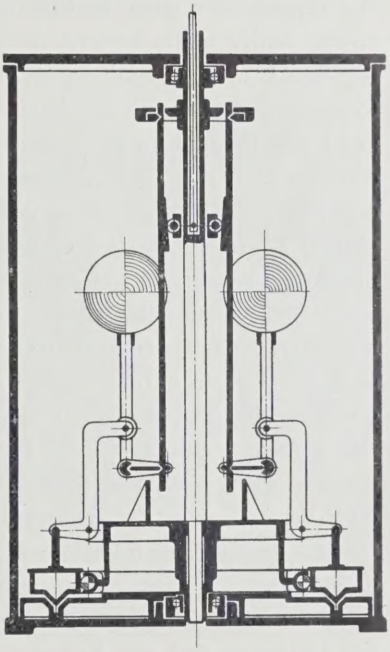


Abb. 36. Rein astatischer Reibungsregulator von Carl Zeiss, Jena. Schema.

Ein astatischer Regulator von ganz erheblich höherer Leistung und mindestens gleich hohem Gleichförmigkeitsgrad wurde von der Firma Carl Zeiss herausgebracht (Abb. 36). Die Astasie wird auch hier durch die Gegenüberstellung von Zentrifugalkraft und Federkraft erzielt, die größere Leistung aber dadurch erhalten, daß man die ganze variable Zentrifugalkraft im Verein mit der Federkraft benutzt, um einen zur Achse konzentrischen Bremsring auf seine Unterlage zu pressen. Durch diese Anordnung wurde bei verhältnismäßig kleiner Dimensionierung und Anwendung gleich kleiner Kugelgewichte, wie bei dem Cookeschen Regulator, doch eine außerordentlich hohe Leistung erreicht, die das normal Notwendige um das Mehrfache überstieg. Man konnte daher die Reibung der Flächen aufeinander erheblich verringern. Dieses geschah durch eine bestimmte Schmierung derselben. Die Schmierung durch gutes Öl drückte den Reibungskoeffizienten zu sehr herab. Man suchte daher nach einem anderen Schmiermittel und fand nach vielen Versuchen, daß eine Mischung von Paraffinöl und Petroleum im Verhältnis 1:6 das Richtige war. Das Material der Reibkörper war Rotguß auf Gußeisen. Diese Konstruktion ergab einen sehr sanften, außerordentlich gleichmäßigen Gang, der bei Reibungsregulatoren mit trockenen Bremsbacken im allgemeinen nicht erreicht wird, da die Reibungskräfte durch Feuchtigkeitseinflüsse sehr variabel sind.

Dieser Regulator ist in verschiedenen Variationen zur Ausführung gelangt. Die einfachste Konstruktion soll in Folgendem beschrieben werden. Die feste Reibfläche ist am Boden des Gehäuses angeordnet und in Gestalt einer zur Drehungsachse kon-

zentrischen Rinne ausgebildet. In dieser Rinne läuft ein gleichgeformter, hohler Ring, der durch Mitnehmer gezwungen wird, an der Rotation der vertikalen Achse teilzunehmen. Das Gehäuse ist bis zu einer gewissen Höhe mit dem Schmiermittel (Paraffinöl und Petroleum) angefüllt, so daß der hohle Reibungsring, wenn er unbelastet ist, schwimmt und daher bei der Rotation fast keinen Widerstand findet. An der Achse sind die Federn in Gestalt von Blattfedern und die Schwungkugeln in folgender Weise befestigt. Die Federn hängen mit ihrem oberen Ende einander gegenüber an der Achse in festen Schneiden. Sie tragen in etwa ein Drittel ihrer Länge schräge Druckflächen, die sich an Rollen anlegen, die auf der Achse in axialer Richtung zwecks Einstellung der genauen Geschwindigkeit verschoben werden können.

Die Schwungkugeln sind an dem längeren Arm von vertikalen Doppelhebeln befestigt und der kurze Arm derselben ist durch ein Zwischenstück mit Schneidengelenken mit dem unteren Ende der Federn verbunden.

Die Drehachsen der Doppelhebel sind auf den oberen, längeren Enden zweier Winkelhebel gelagert, die sich mit ihrer Drehachse auf eine Platte stützen, die fest mit der Drehachse des Regulators verbunden ist. Die horizontalen Winkelhebelenden drücken durch Vermittlung eines Zwischenstückes auf den Schleifring. Bei der Rotation des Ganzen mit einer bestimmten Geschwindigkeit fliegen die Kugeln nach außen und biegen dadurch die Federn nach innen durch. Der ganze Federdruck und die Zentrifugalkraft werden nun durch die Winkelhebel auf den Schleifring übertragen. Die Gesamtanordnung ist so dimensioniert, daß bei einer bestimmten Umdrehungszahl des Regulators die Zentrifugalkraft der Kugeln der Federkraft in jeder Lage der Kugeln das Gleichgewicht hält, wobei aber der Druck auf den Schleifring mit der wachsenden Entfernung der Schwingkugeln von der Mitte entsprechend der wachsenden Zentrifugalkraft und der wachsenden Federspannung stark zunimmt, wodurch die Arbeitsaufnahme bzw. die Leistung des Regulators außerordentlich groß wird.

Die genaue Einstellung der Astasie und der Umdrehungszahl ist bei der vorliegenden Konstruktion nicht so einfach wie bei der Repsoldschen. Bei dieser ergab sich die Astasie automatisch, weil durch die konzentrische Anordnung der Federstange die Durchbiegung derselben und der Abstand des Gewichtes ohne weiteres gleich war. Die genaue Umdrehungszahl konnte hier entweder durch Veränderung der Masse oder der Federlänge erfolgen. Eine Vergrößerung der Masse bei gleicher Federlänge, oder eine Vergrößerung der Federlänge bei gleicher Masse ergab eine Verlangsamung der Geschwindigkeit, eine Verkleinerung der Masse oder der Federlänge eine Vergrößerung derselben.

In vorliegendem Falle sind aber zwei Federn angewendet, um ein Mitschwingen des Gehäuses und des Fundamentes zu verhindern. Es war daher nicht möglich, sie so anzuordnen, daß ihre Durchbiegung ohne weiteres gleich dem Abstand der Kugeln von der Achsenmitte wurde; die Astasie tritt hier nur bei einem bestimmten Verhältnis von Hebellänge zur Federdurchbiegung ein.

Es muß daher zuerst die Astasie ohne Rücksicht auf die Höhe der Umdrehungszahl hergestellt werden, indem der Abstand der Kugeln von der Drehachse der Doppelhebel so lange vergrößert bzw. verkleinert wird, bis eine absolut gleiche Umdrehungszahl bei den verschiedenen Ausschlägen der Kugeln erreicht wird. Eine Vergrößerung des Abstandes der Kugeln ergibt nämlich eine mit der Größe des Ausschlages abnehmende und umgekehrt eine Verkleinerung derselben eine zunehmende Geschwindigkeit. Nachdem die Astasie hergestellt ist, wird durch Änderung des Gewichtes der Schwungkugeln ohne Veränderung des Schwerpunktes derselben die ungefähre Um-

drehungszahl erzielt. Es wäre schwierig und langwierig, die genaue Geschwindigkeit in dieser Weise einzustellen, da eine Veränderung des Gewichtes nur durch eine Veränderung der Form der Schwungkugeln zu erreichen ist. Da es aber außerdem sehr wünschenswert ist, daß der letzte Rest der Justierung möglichst während des Ganges erfolgen kann, was übrigens beim Repsoldschen Regulator nicht möglich ist, so mußte zu einer anderen Art derselben übergegangen werden. Man schritt dazu, statt die Gewichte der Schwungkugeln die Wirkung der Federn zu verändern. Dieses ist aber nur unter bestimmten Bedingungen möglich. Durch eine einfache Veränderung der Spannung würde auch eine Veränderung der Durchbiegung erfolgen und dadurch die Astasie gestört. Soll die Durchbiegung der Federn bei Veränderung der Spannung konstant bleiben, was zur Erhaltung der Astasie nötig ist, so muß die Länge der Federn mit der Erhöhung der Spannung verkleinert und mit der Erniedrigung der Spannung vergrößert werden. Diese Bedingungen wurden dadurch erfüllt, daß man auf die Federn an der Unterstützungsstelle keilförmige Zwischenstücke legte, die so dimensioniert waren, daß bei der Verschiebung der Stützrollen die Federspannung und gleichzeitig die Federlänge so geändert wurden, daß die Umdrehungszahl in geringen Grenzen verändert, die Astasie aber erhalten blieb. Damit war die Möglichkeit gegeben, die letzte feine Regulierung während des Ganges vorzunehmen. Es braucht zur letzten Justierung nunmehr nur noch der Halter der kleinen Druckrollen durch die Achse hindurch axial verschoben zu werden.

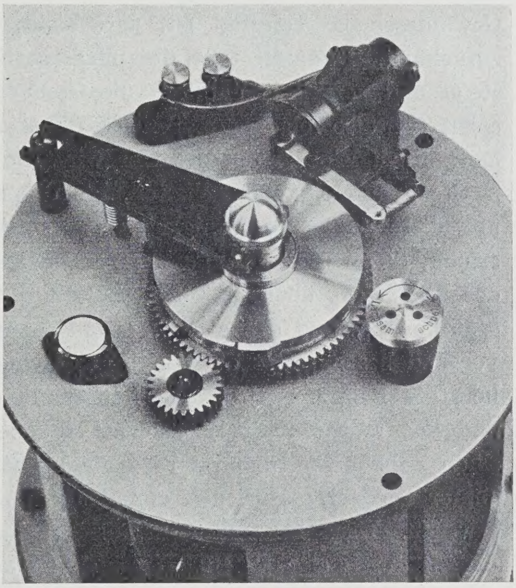


Abb. 37. Sekundenkontroller von Carl Zeiss, Jena.

Die Einstellung der genauen Umdrehungszahl ist bei allen Regulatoren naturgemäß nicht leicht. Man muß sie häufig kontrollieren, da äußere Einflüsse eventuell thermischer Natur, Inhomogenität der Materialien usw., winzig kleine Veränderungen im Gang erzeugen. Um diese Veränderungen zu eliminieren, wird eine Kontrolle durch eine astronomische Uhr, bekanntlich der gleichmäßigste und genaueste Bewegungsapparat, der durch Menschenhand hergestellt wird, eingeführt, und zwar beschränkt man sich nicht mit einer einfachen Kontrolle, sondern verbindet mit ihr gleich eine Vorrichtung, die die oben beschriebene Feinregulierung betätigt. Diese Betätigung erfolgt bei dem Zeisskontroller jede zweite Sekunde und verhindert dadurch jede merkbare Abweichung von dem theoretischen Gang des Regulators. Dieser sogenannte Sekundenkontroller soll in folgendem beschrieben werden:

Auf der oberen Abschlußplatte (Abb. 37 und 41) des Regulators ist eine Achse montiert, auf der ein Zahnrad mit 100 Zähnen befestigt ist. Durch Übersetzungsräder wird dieses Rad durch den Regulator dauernd angetrieben, und zwar ist das Übersetzungsverhältnis so gewählt, daß bei genau richtigem Gang des Regulators das Zahnrad sich in zwei Sekunden genau einmal dreht. Lose auf der Achse sitzt ein zweites Zahnrad von gleicher Größe, aber mit nur 99 Zähnen. Das letzte Übersetzungsrad greift in beide Zahnräder gleichzeitig ein und gibt dem zweiten daher eine etwas

erhöhte Geschwindigkeit Es dreht sich in zwei Sekunden $\frac{100}{99}$ mal herum. Das zweite Zahnrad ist durch eine lösbare Reibungskuppelung mit einer Scheibe verbunden, die ein konzentrisches Gewinde trägt und auch lose auf der Achse läuft. Durch die Reibungskuppelung erhält diese Scheibe dieselbe Drehzahl wie das zweite Zahnrad. Sie trägt eine nach außen vorstehende Klinke, durch welche die Kuppelung gelöst und die Scheibe am Mitlaufen gehindert werden kann. Das Gewinde der Scheibe schraubt sich in eine Mutter, die in Höhe verschiebbar, aber gegen Verdrehung gesichert, mit der Achse also auch mit dem ersten Zahnrad verbunden ist, und demnach stets dieselbe Umdrehungszahl machen muß wie das erste Zahnrad. Eine relative Verdrehung des zweiten Zahnrades gegen das erste muß also ein Heben bzw. Senken der Mutter hervorrufen. Wird nun diese Bewegung der Mutter durch eine Hebelanordnung auf die Federstützrollen übertragen, so wird dadurch die Geschwindigkeit des Regulators beeinflußt. Die relative Verdrehung der beiden Zahnräder bei fester Kuppelung erzeugt automatisch ein gleichmäßiges Senken der Mutter und gleichzeitig ein Spannen der Federn und daraus resultierend eine Vergrößerung der Geschwindigkeit des Regulators bis zu einem Maximum, das durch einen Anschlag begrenzt wird. Der Regulator wird sich also stets automatisch auf eine etwas zu hohe Geschwindigkeit einstellen. Jetzt tritt aber die Uhr in Funktion und betätigt jede zweite Sekunde einen kleinen Elektromagneten, der einen kleinen Hebel vordrückt und dadurch die Klinke, die an der Gewindescheibe befestigt ist, zurückhält, die Kuppelung löst und auch die Scheibe zurückhält. Dadurch tritt die umgekehrte Bewegung der Schraube ein; die Mutter steigt und verringert dadurch die Geschwindigkeit des Regulators. Der Mechanismus spielt sich also folgendermaßen ein. Zuerst hat der Regulator eine erhöhte Geschwindigkeit. Nach Einschalten der Uhr wird die Klinke bei jedesmaligem Umgang, d. h. jede zweite Sekunde, zurückgehalten, bis die richtige Umdrehungszahl erreicht ist. Wird nun diese Zahl eine Wenigkeit unterschritten, was häufig beim Einschalten der Uhr erfolgt, da in diesem Augenblick die Sekunde der Uhr noch nicht mit der Sekunde des Regulators übereinstimmt, so tritt die Klinke nicht in Funktion, da sie etwas zu spät kommt, und das zweite, etwas schneller laufende Zahnrad schraubt die Mutter vor und beschleunigt den Gang des Regulators wieder. Nach dem richtigen Einspielen holt die Klinke nach jeder Umdrehung die Gewindescheibe um einen Zahn zurück und das zweite Zahnrad schiebt sie langsam während der Umdrehung wieder um einen Zahn vor. Dadurch wird die kleinste Unregelmäßigkeit schon in zwei Sekunden immer wieder ausgeglichen und das Instrument muß sich ganz genau der Uhr folgend bewegen. Diese Einrichtung läßt sich an jedem Regulator anbringen, dessen Geschwindigkeit durch eine Vertikalverschiebung der Hauptdrehachse oder eines Mechanismus in Richtung derselben beeinflußt wird. Der Repsoldsche oder der pseudoastatische kann also nicht damit ausgerüstet werden.

Der Antrieb aller mechanischen Regulatoren erfolgt durchweg durch ein sinkendes Gewicht, das die gleichmäßigste Kraftzufuhr gewährleistet. Die Gleichmäßigkeit derselben ist ein dringendes Erfordernis, da sonst der Regulator nicht nur die Unregelmäßigkeiten des Instrumentes, sondern auch noch die der Kraftzufuhr ausgleichen müßte, was unter allen Umständen vermieden werden muß. Nun ist ja im allgemeinen der Arbeitsbedarf für ein astronomisches Instrument nicht sehr groß, da die Umdrehungsgeschwindigkeit sehr gering ist. Trotzdem kommen aber doch ganz respektable Gewichte dabei heraus, wenn man nicht allzuoft aufziehen will; und die Mühe des Aufziehens ist groß. Es sind daher bei großen Instrumenten schon sehr häufig, bei modernen wohl überall, elektrische Aufzugsvorrichtungen in Anwendung.

Je häufiger aufgezogen werden kann, desto kleiner kann naturgemäß das Gewicht sein. Das kleinste Gewicht erhält man natürlich, wenn es dauernd mit derselben Geschwindigkeit aufgezogen wird, mit der es abläuft. Die Firma Zeiss wendet daher für große Instrumente schon seit 20 Jahren eine Aufzugsvorrichtung an, der dieser Gedanke zugrunde liegt und bei dem die Aufzugsgeschwindigkeit automatisch nach der Ablaufgeschwindigkeit reguliert wird (Abb. 38 und 39). Die Anordnung ist folgende:

Eine Gallsche Kette ohne Ende ist in zweckentsprechender Weise um vier feste, im Rechteck an einem Eisengerüst aufmontierte Rollen geschlungen, von denen die obere linke und die untere rechte Rolle verzahnt sind. Die obere linke Rolle wird durch einen Elektromotor angetrieben, während die untere rechte Rolle den Regulator und das Instrument antreibt. Zwischen der oberen verzahnten linken Rolle und der oberen rechten Führungsrolle bildet die Kette eine Schleife, in welcher eine lose Rolle hängt, die das Antriebsgewicht trägt. Dieses setzt also beim Herabsinken den Regulator und das Instrument in Bewegung, würde aber nach ganz kurzer Zeit unten aufsitzen bzw. abgelaufen sein. Wird nun die obere verzahnte Rolle im umgekehrten Sinne genau so schnell wie die untere verzahnte Rolle gedreht, deren Geschwindigkeit durch den Regulator bestimmt wird, so wird das Gewicht in einer beliebigen Höhe stehen bleiben und den Regulator bzw. das Instrument dauernd und selbstverständlich mit gleicher Kraft in Bewegung halten. Wird die obere Rolle etwas schneller gedreht, so steigt das Gewicht langsam; wird sie langsamer gedreht, so fällt dasselbe. Dieses Steigen und Fallen des Gewichtes wird nun benützt, um die Geschwindigkeit der oberen Rolle zu regulieren. Zu dem Zweck wird dieselbe nicht direkt vermittels eines festen Übersetzungsgetriebes angetrieben, sondern es wird eine veränderliche Riemenübersetzung durch konische Riemenscheiben eingeschaltet. Der Riemenführer, der den Riemen auf den konischen Scheiben hin- und herführt und dadurch die verschiedene Übersetzung einleitet, wird durch eine Schraube verschoben, die durch das steigende oder sinkende Gewicht unter Vermittelung eines zweiten kleinen Kettentriebes gedreht wird. Läuft der Elektromotor zu schnell, so steigt das Gewicht, verschiebt dadurch den Riemenführer so lange, bis wieder Gleichheit der Geschwindigkeit herrscht und umgekehrt. Es entspricht also jeder Geschwindigkeit des Motors eine bestimmte Stellung des Gewichtes. Der lose Kettenteil, der sich eventuell beim Heben des Gewichtes verhaspeln könnte, wird über eine zweite lose Rolle, die zwischen der ersteren und dem Gewicht angeordnet ist, und über die vierte feste Rolle zurück nach der vom Motor angetriebenen verzahnten Rolle geführt. Bei einer Variation der Anordnung verschiebt das steigende und sinkende Gewicht einen elektrischen Widerstand, der vor den Motor geschaltet ist und seine Geschwindigkeit in geeigneter Weise beeinflußt.

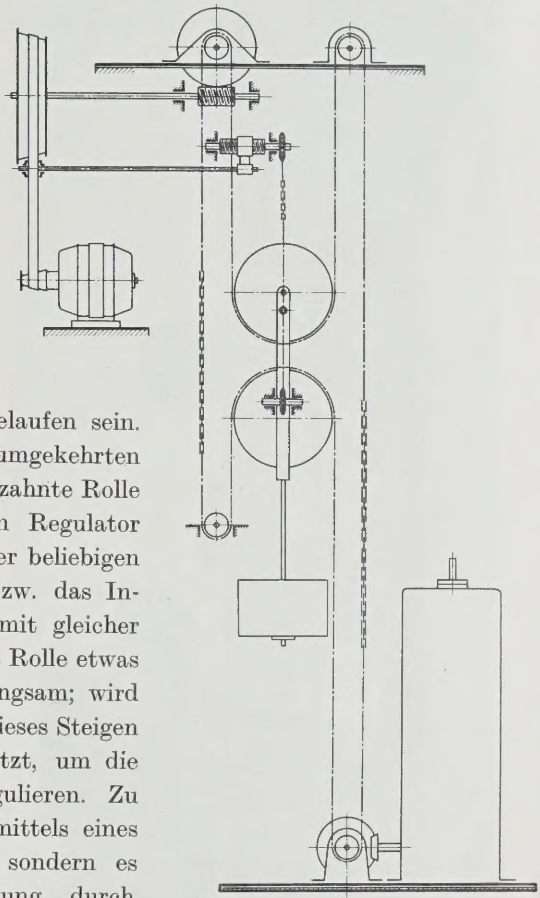


Abb. 38. Elektrische Aufzugsvorrichtung von Carl Zeiss, Jena. Schema.

Diese Uhrwerksmaschine, denn von einem Uhrwerk kann kaum noch gesprochen werden, ist in großer Anzahl ausgeführt und hat sich überall durchaus bewährt. Sie war aber doch auch reichlich kompliziert und man hat daher immer wieder versucht, die Sache zu vereinfachen. Ohne Veränderung des Systems ließ sich aber nichts Wesentliches erreichen. Man kam daher auf die Idee, den astatischen Regulator nicht mehr zur Abbremsung bzw. Freigabe einer dauernd zu erzeugenden Überarbeit zu benutzen, sondern als elektrisches Schaltrelais auszubilden, das einen Elektromotor direkt beeinflußt und seine Geschwindigkeit regelt. Es wurde bei dieser Konstruktion die Eigentümlichkeit des Gleichstromelektromotors zugrunde gelegt, nach welcher derselbe eine höhere Geschwindigkeit annimmt, wenn vor die Feldmagneten ein Widerstand geschaltet, d. h. das Magnetfeld geschwächt wird und umgekehrt durch Abschaltung des Widerstandes und Stärkung des Feldes eine Verringerung der Drehzahl erfolgt. Der Aufbau des rein elektrischen Uhrwerks erfolgt danach folgendermaßen (Abb. 40, 41 und 42).

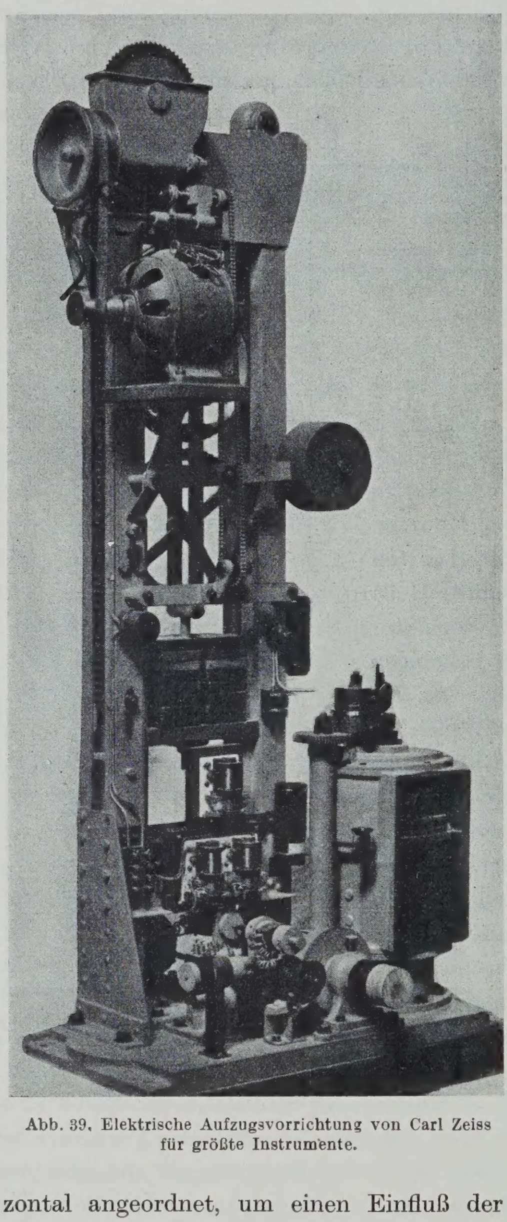
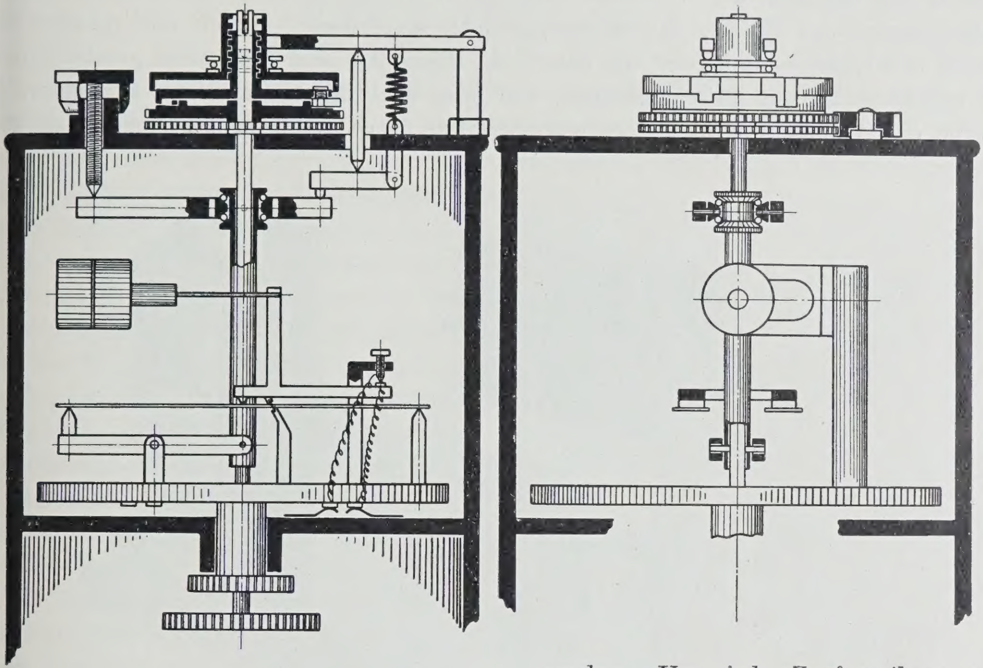


Abb. 39. Elektrische Aufzugsvorrichtung von Carl Zeiss für größte Instrumente.

Vermittels einfacher Schneckenradübersetzungen wird sowohl das Instrument als auch gleichzeitig ein kleiner rein astatischer Regulator angetrieben. Die Drehzahl des Elektromotors ist so bestimmt, daß er den Regulator bzw. das Instrument normal um etwa $5\,^0/_0$ zu langsam dreht. Ein elektrischer Widerstand ist so bemessen, daß er, vor das Magnetfeld des Motors geschaltet, die Geschwindigkeit desselben und die des Instrumentes um etwa $10\,^0/_0$ erhöht. Die richtige Drehzahl liegt also zwischen beiden. Der Regulator ist wieder ein Federregulator, der mit besonderer Sorgfalt ausgewogen ist. Die Blattfedern, der Symmetrie wegen zwei, sind in diesem Falle horizontal angeordnet, um einen Einfluß der Masse der Federn auf den Gang zu vermeiden. Sie sind auf einen runden Teller, der fest auf der vertikalen Achse des Regulators sitzt, aufgebaut. Ein kleines Schwunggewichtchen (in diesem Falle nur eins), ist vermittels eines ganz schwachen Federbleches, das vertikal und tangential an dem Schwingungskreis angeordnet ist, an einem auf den Teller aufgeschraubten Träger angehängt, so daß es in radialer Richtung frei ausschwingen und einer solchen Bewegung nur einen ganz minimalen zu vernachlässigenden Widerstand entgegensetzt. In radialer Richtung ist das Schwunggewichtchen durch ein zweites, ganz schwaches

'ederblech mit dem vertikalen Arm eines Winkelhebels verbunden, dessen Drehachse est mit dem Teller verbunden ist. Der horizontale, kurze Arm des Winkelhebels lrückt mit einer Stahlschneide in der Mitte auf die beiden rechts und links der Drehchse angeordneten Federn, die an ihren Enden ebenfalls auf Stahlschneiden gestützt



werden. Um jede Zapfenreibung zu verhindern, ist die Drehachse des Winkelhebels als kurzes, schwaches Federblech in der Weise ausgebildet, wie es z. B. bei der Aufhängung der Pendel bei Pendeluhren geschieht. Das Gewichtchen und die Federn sind nun wieder so dimensioniert, daß die Zentrifugalkraft bei der genau richtigen Umdrehungszahl des Regulators bei jedem Abstand des Schwunggewichtchens von der Achsenmitte der Federkraft das Gleichgewicht hält. Da nun in vorliegendem Falle die Feder- und die Zentrifugalkraft nicht zur Erzeugung einer Bremsarbeit benutzt werden soll, so wird der Ausschlag des Gewichtchens soweit begrenzt, als zum Schließen und Öffnen eines elektrischen Kontaktes nötig ist.

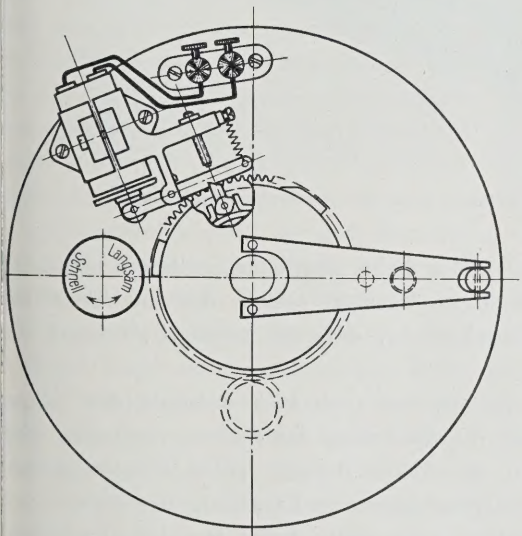



Abb. 40. Rein astatischer Regulator
ir das elektrische Zeissuhrwerk mit Zeiss-Sekundenkontroller.

)er Kontakt wird dadurch gebildet, daß ein am Winkelhebel befestigter Arm beim Hinausiegen des Schwunggewichtes zwei Wolfram-Kontakte zur Berührung bringt und sie beim 'urückgehen wieder trennt. Durch diesen Kontakt wird eine parallel zu dem oben genannen Widerstand liegende Leitung kurz geschlossen und der Widerstand dadurch überbrückt. )urch das Öffnen des Kontaktes wird die Leitung wieder geöffnet und der Wider-

stand tritt wieder in Wirkung. Die Wirkungsweise des Uhrwerkes ist nun die folgende. Beim Einschalten des Stromes liegt der Widerstand vor dem Magnetfeld des Motors und würde ihm eine zu große Umdrehungszahl verleihen, wenn nicht in dem Moment, in dem die richtige Geschwindigkeit erreicht ist, das Schwunggewichtchen nach außen fliegen und dadurch den Widerstand abschalten würde. Sofort ermäßigt sich die Geschwindigkeit des Motors, das Schwunggewicht fliegt wieder zurück und schaltet dadurch den Widerstand wieder vor das Feld. Dieses An- und Abschalten geschieht nun in ungeheuer kurzen Zwischenräumen, und zwar sind die letzteren um so kleiner, je höher die Astasie des Regulators getrieben ist; ja es geschieht so schnell, daß von

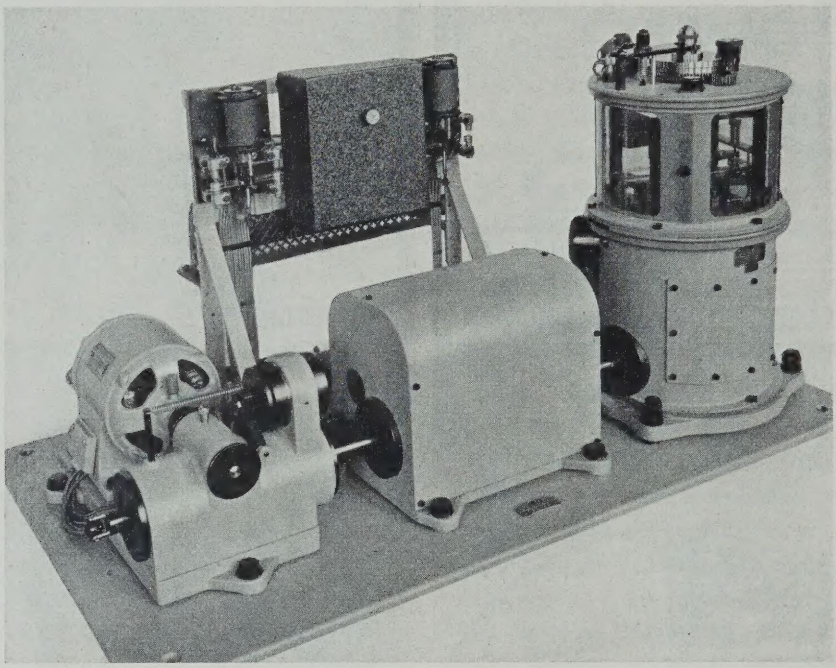


Abb. 41. Elektrisches Zeissuhrwerk mit elektrischen feinen und groben Feinbewegungen.

einem richtigen Ein- und Ausschalten gar nicht mehr gesprochen werden kann. Es wird gewissermaßen ein Übergangswiderstand im Kontakt erzielt, der im Verein mit dem festen Widerstand diesen so weit herabdrückt, daß die richtige Drehzahl des Motors erzielt wird.

Die letzten Feinheiten der Justierung werden auch hier während des Ganges erzielt, indem durch eine Hebelübersetzung die Spannung der Federn verändert wird, wobei die eine Stütze der beiden Federn um kleine Beträge gehoben oder gesenkt und gleichzeitig, wie bei dem Feder-Reibungsregulator zur Erhaltung der Astasie verkürzt oder verlängert wird. Selbstverständlich wird auch dieser Regulator mit demselben Sekundenkontroller, wie er bei den Reibungsregulatoren Verwendung findet, genau dem Gang der astronomischen Uhr angepaßt.

Die Vorteile, die dieser Regulator bietet, sind außerordentlich groß. Neben der einfachen Bedienung (es genügt ein einfaches Einschalten des Stromes) ist die außerordentlich große Leistung bei kleinsten Dimensionen und höchster Genauigkeit des Ganges hervorzuheben. Der Reguliermechanismus funktioniert bei Spannungsunterschieden von $\pm 15\,^0/_0$ und bei Leistungsunterschieden von 0,1 PS noch absolut sicher.

Was das bedeutet, kann man sich klar machen, wenn man diesem elektrischen Uhrwerk ein altes Uhrwerk mit Reibungsregulator und Gewichtsaufzug von gleicher Leistung gegenüberstellen wollte. Wenn angenommen wird, daß das Gewicht in einer Stunde 3 m abläuft, so müßte es unter Nichtberücksichtigung des verhältnismäßig niedrigen Nutzeffektes

$$\frac{75\ \text{mkg} \cdot 0{,}1 \cdot 3600\ \text{sec}}{1\ \text{sec}\ \ 3\ \text{m}} = 9000\ \text{kg}$$

ınd bei Berücksichtigung eines Nutzeffektes von $50^0/_0$ 18000 kg wiegen, was eine iesige, kaum auszuführende Anlage bedeuten würde.

Das elektrische Uhrwerk kann bei Verwendung geeigneter Übersetzungsräder inem jeden astronomischen Instrument, uch solchem größter Dimension, angeaßt werden, was übrigens schon mehrach erfolgt ist. Da die Dimensionen des Jhrwerks die eines gewöhnlichen kleinen Cookeschen Gewichtsuhrwerks nicht überreffen, hat man auf Herstellung mehrerer Modelle verzichtet, um so mehr, als die Regulierfähigkeit der Kleinstmotoren sehr u wünschen übrig läßt und die Kosten ei kleinerer Ausführung nicht geringer würden.

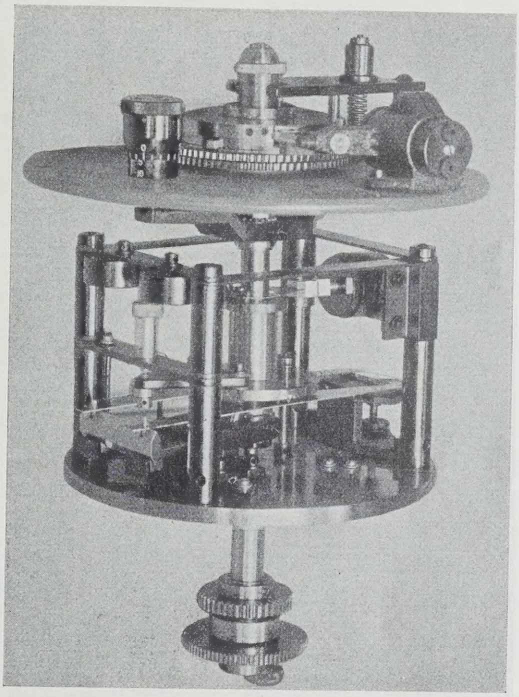


Abb. 42. Elektrisches Zeissuhrwerk, Reguliereinrichtung.

Es sei hier noch erwähnt, daß schon m Jahre 1909 E. Giebe in einer Mitteilung er Physikalisch-Technischen Reichsantalt eine auf gleicher Grundlage aufgeaute Motorregulierung beschrieben hat. ie hat aber leider lange keine Anwenung gefunden und war auch wenig beannt geworden, so daß sie bei der Firma eiss neu erfunden wurde.

Es erübrigt sich nun noch über die 'einbewegungen einige Worte zu sagen. ie dienen einesteils dazu, das Instrument von vornherein genau auf den gewünschten rt zu richten, andernteils aber auch, es während der Beobachtung genau in der elativen Lage zum beobachteten Himmelskörper zu erhalten. Der geringste Fehler ı der Aufstellung des Instrumentes oder im Übersetzungsmechanismus zwischen Uhrerk und Instrument und endlich die verschiedene Refraktion der Luft zwingt den eobachter, wie schon früher bemerkt, in den Gang einzugreifen und ihn zu korriieren. Diese Korrektion muß hauptsächlich bei der Himmelsphotographie mit außerrdentlicher Feinheit geschehen, und es ist den Feinbewegungen daher größte Sorgfalt ı widmen. Sie erfolgt im allgemeinen durch eine Einstellschraube mit Mutter, die om Okularende aus bewegt werden kann und das Verbindungsglied zwischen zwei Iebelarmen darstellt, von denen der eine mit dem Fernrohr usw. selbst fest verbunden nd der andere bei der Stundenfeinbewegung mit dem durch das Uhrwerk angetriebenen tundenrad, bei der Deklinationsfeinbewegung mit dem Achsenlager fest verklemmt erden kann. Das Hauptaugenmerk ist bei den Feinbewegungen auf die möglichste Ierabsetzung des sogenannten toten Ganges zu legen. Ganz zu beseitigen ist er nie,

da er nicht allein auf ein eventuelles geringes Schlottern der Schraube, sondern auch auf eine nicht zu vermeidende Durchbiegung bzw. Federung der Hebelarme, Achsen usw. zurückzuführen ist. Ganz besonders unangenehm wirkt der tote Gang in Deklination, da hier beim Hin- und Herbewegen des Fernrohres um minimale Größen jedesmal erst der ganze Betrag des toten Ganges überbrückt werden muß, ehe eine Wirkung eintritt. Ein geschickter Beobachter nutzt daher die Tatsache aus, daß eine Korrektion in Deklination im allgemeinen nur nach einer Richtung zu erfolgen hat, da sowohl eine mangelhafte Aufstellung, als auch die veränderliche Refraktion der Luft erst beim Erreichen des Kulminationspunktes eine Umkehrung des Drehsinus der Schraube erfordert. Der Beobachter hat also Sorge zu tragen, daß er möglichst nie überkorrigiert, damit er nicht zurückzugehen braucht. Zur Vermeidung des toten Ganges der Schraube wird im allgemeinen eine Gegenfeder angewendet, durch die die Schraube in der Mutter stets nach einer Richtung gepreßt wird. Diese Konstruktion hat aber ihre Schattenseiten. Um nicht zu häufig am Ende der Schraube anzukommen, ist es erwünscht die Schraubenlänge möglichst groß zu wählen; soll aber dann der Gegendruck der Feder nicht allzu sehr variieren, so muß eine sehr lange Feder Anwendung finden, die aber im allgemeinen schwer unterzubringen ist. Man behilft sich daher sehr oft mit einer verhältnismäßig kurzen Schraube. Die Firma Zeiss begegnet diesem Mangel durch eine Schraubenanordnung, die in folgendem beschrieben werden soll (Abb. 43 und 44): In einem mit dem festen Arm verbundenen Rahmen sind drei Schrauben gelagert. die ein gemeinschaftliches Mutterstück besitzen. Die drei Schrauben sind durch Stirnräder miteinander gekuppelt, deren Übersetzung der verschiedenen Steigung der Schrauben angepaßt ist. Im allgemeinen hat die mittlere Schraube, die eigentliche Einstellschraube, 2 mm Steigung links und die beiden äußeren 6 mm rechts, die Räder eine Übersetzung 1:3. Bei der Verdrehung der mittleren Schraube bleiben also alle drei Schrauben zueinander in gleicher Lage. Die mittlere Schraube läuft mit ihrem einen Ende in einem festen Spurlager, während die beiden äußeren Schrauben an der gegenüberliegenden Seite in axial-beweglichen Spurlagern laufen. Werden nun diese letzteren durch eine Federplatte gegen die Schrauben gedrückt, so pflanzt sich dieser Druck durch das Mutterstück auf die mittlere Schraube fort und drückt diese gegen ihr Spurlager. Diese Druckverhältnisse bleiben beim Verdrehen der Schrauben vom Anfang bis zum Ende dieselben, dabei ist ein toter Gang völlig ausgeschlossen. Die Bewegung des Mutterstückes wird durch zwei Lenker auf den beweglichen Arm übertragen. Diese Konstruktion gestattet beliebig lange Schrauben und ergibt einen völlig gleichmäßigen zügigen Gang. Sie kommt in den verschiedensten Dimensionen

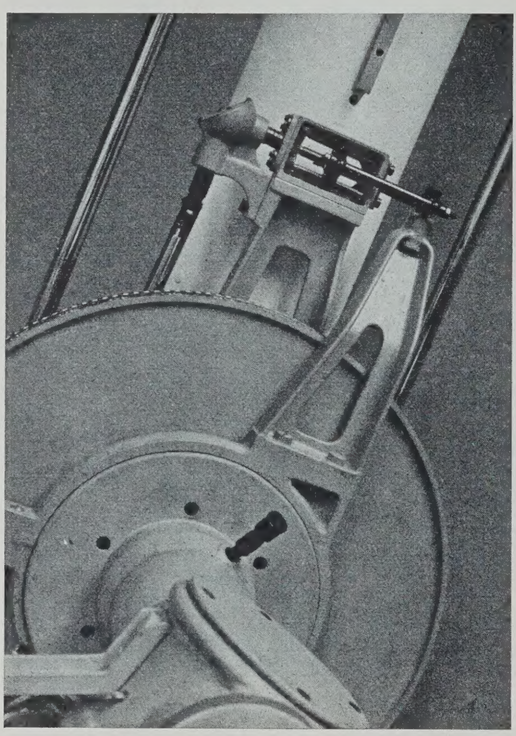


Abb. 43. Feinbewegung von Carl Zeiss.

unter anderen auch bei Meßschrauben in Mikrometern und bei Transportschrauben für Doppelschlittenkassetten usw. mit bestem Erfolg zur Anwendung.

Die gleichen Einrichtungen finden auch bei der Stundenfeinbewegung Anwendung. Man ist jedoch hier mehr und mehr zu elektrischen Feinbewegungen übergegangen, ist aber lange Zeit dabei stehen geblieben, die letzteren nur für die letzten Feinheiten anzuwenden, im übrigen aber die Handfeinbewegungen beizubehalten. Eine weit verbreitete Einrichtung ist unter dem seltsamen Namen „Elektrische Maus" bekannt geworden. Es ist unerklärlich, woher dieser Name stammt, ist aber auch im Französischen „*souris*" und im Englischen „*mouse*" gebräuchlich. Sie besteht aus zwei Planetenrädergetrieben, die in die Verbindungswelle zwischen Uhrwerk und Instrument eingeschaltet werden, und bei denen im normalen Gang die Planetenräder als Mitnehmer wirken, also keinen Einfluß auf die Geschwindigkeit ausüben; erst wenn diese durch einen Elektromagneten an ihrem Umlauf gehindert werden, wirken sie als Übersetzungsräder und beschleunigen oder verzögern den Gang des Instrumentes. Diese Einrichtung hat aber einen gewissen Nachteil, der darin besteht, daß durch das Einschalten der Übersetzung eine Veränderung im Schwergang des Instrumentes und dadurch bei nicht astatischen Uhrwerken stets eine Beeinflussung des Uhrganges erfolgt.

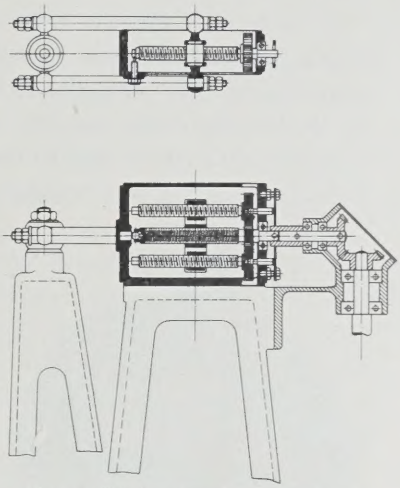


Abb. 44. Feinbewegungsschraube ohne toten Gang von Carl Zeiss, Jena.

Die Einführung der elektrisch angetriebenen Regulatoren hat bei der Firma Zeiss zu verschiedenen Konstruktionen elektrischer Feinbewegungen geführt, und zwar hat man sich entschlossen, diese für zwei Geschwindigkeiten einzurichten, eine verhältnismäßig grobe, die es gestattet, das Objekt schnell durch das Gesichtsfeld zu bringen und eine ganz feine, die dem feinen Pointieren dient. Von den verschiedenen Typen, die bisher zur Ausführung gekommen sind, seien hier nur die beiden letzten näher beschrieben. Sie sind als ganz voneinander unabhängige einzeln zu betätigende Apparate ausgebildet und werden hintereinander in die Verbindungswellenleitung zwischen Uhrwerk und Instrument eingeschaltet. Bei Verwendung derselben mit dem elektrischen Uhrwerk werden dieses und beide Apparate mit ihren elektrischen Relais usw. auf eine gemeinsame Platte (Abb. 41) aufgebaut und als zusammenhängendes Ganzes geliefert. Hinter das Uhrwerk ist zuerst die feine Feinbewegung (Abb. 45)

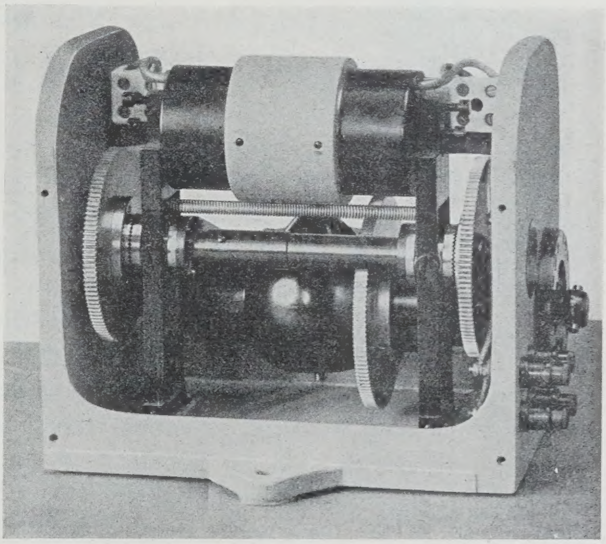


Abb. 45. Elektrische Feinbewegung von Carl Zeiss, Jena.

aufgebaut, die folgende Einrichtung hat. Die konzentrisch durch den Apparat hindurchgeführten Triebwellen sind in der Mitte durch ein sogenanntes Differentialrädergetriebe miteinander verbunden. Dieses kehrt bekanntlich den Drehsinn der beiden Wellenenden um, so daß das aus dem Apparat austretende Wellenende sich umgekehrt, aber mit gleicher Geschwindigkeit dreht, wie das vom Uhrwerk angetriebene, eintretende Wellenende. Wird jetzt das Gehäuse dieses Getriebes in gleichem oder entgegengesetztem Sinne gedreht wie das austretende Wellenende, so wird die Geschwindigkeit des letzteren erhöht bzw. erniedrigt. Die Verdrehung des Gehäuses erfolgt jeweilig durch eins der beiden entgegengesetzt laufenden Wellenenden, indem es durch eine durch Elektromagnet einschaltbare Kupplung unter Benutzung stark verlangsamender Übersetzungen mit demselben verkuppelt wird. Die Elektromagnete werden durch Druckknöpfe gesteuert, und zwar erfolgt eine Wirkung solange als auf den Druckknopf gedrückt wird; sie hört mit dem Loslassen des Druckknopfes sofort auf, und es tritt der normale Gang sofort wieder ein, ohne auch nur die kleinste Spur eines toten Ganges zu hinterlassen.

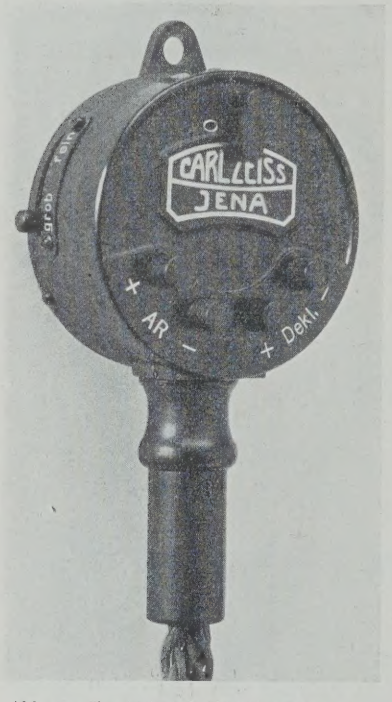



Abb. 46. Handgriff mit Druckknöpfen für elektr. Feinbewegungen in *AR* und *Dekl.* Umschalthebel für fein und grob und Schalter für Elektromagneten der Kupplung.

Die grobe Feinbewegung erfolgt auf andere Weise. Dieser Apparat liegt hinter der feinen Feinbewegung und hat auch wieder zwei konzentrisch ein- und austretende Wellenenden, die in diesem Falle aber durch eine Zahnkupplung direkt miteinander verbunden sind. Das eine Wellenende ist mit dem austretenden Wellenende der Feinbewegung gekuppelt und das andere mit dem Instrument. Durch einen Elektromagneten kann nun die Zahnkupplung ausgeschaltet und gleichzeitig eine zweite Zahnkupplung, die das austretende Wellenende mit einem reversierbaren besonderen Elektromotorantrieb verbindet, eingeschaltet werden. Die Wirkungsweise ist folgende. Im normalen Zustand läuft das austretende Wellenende genau mit derselben Geschwindigkeit wie die Welle des Uhrwerks. Durch den Druck auf einen der Druckknöpfe wird gleichzeitig die erste Kupplung gelöst, die zweite eingeschaltet, der Motor durch Vermittelung eines Relais in Bewegung und dadurch die Verbindungswelle in schnelle Rotation versetzt, das Instrument also verhältnismäßig schnell bewegt. Durch den Druck auf einen zweiten Druckknopf erfolgt die Betätigung der Kupplungen wie oben, aber der Motor läuft in entgegengesetzter Richtung und erzeugt so einen Rückwärtsgang des Instrumentes. Bei der Benutzung der groben Feinbewegung wird aber der normale Gang nur dann sofort wieder eintreten, wenn die Bewegung im Sinne des Uhrwerksganges erfolgte. Bei einem Rückwärtsgang des Instrumentes muß das Uhrwerk selbstverständlich erst den unvermeidlichen toten Gang im ganzen Übertragungsmechanismus aufholen, ehe das Fernrohr der Uhrwerksbewegung folgt, was immerhin einige Sekunden dauern kann. Man hilft sich dadurch, daß man bei der groben Feinbewegung nach rückwärts stets etwas über das Ziel hinausgeht und den Betrag, um den man zu weit zurückgegangen ist, durch Einschaltung des Vorwärtsganges in ganz kurzer Zeit wieder aufholt. In diesem Falle tritt sofort der normale Gang wieder ein. Eine

Annehmlichkeit bietet die grobe Feinbewegung noch dadurch, daß das Instrument durch eine einfache Schaltung, ohne das Uhrwerk anzuhalten oder die Klemmung zu lösen für bestimmte Zeiten still gestellt werden kann, was für gewisse Messungen erwünscht ist. Man braucht nur den Elektromagneten einzuschalten, ohne den Motor laufen zu lassen und dadurch die Zahnkupplung zu lösen. Nach Ausschalten des Elektromagneten tritt sofort wieder der genaue Uhrgang in Funktion.

Die Steuerungen aller elektrischen Bewegungseinrichtungen im astronomischen Betrieb, die durch die Firma Carl Zeiss ausgeführt werden, als da sind die Fein- und Grobbewegungen der Instrumente, die Drehung der Kuppel, das Öffnen des Spaltschiebers, das Heben und Senken der Hebebühnen usw. werden durch Druckknöpfe getätigt, und zwar so, daß die Bewegung einer Einrichtung nur so lange dauert, als auf den entsprechenden Druckknopf gedrückt wird. Beim Loslassen desselben tritt in allen Fällen Ruhe ein. Dieses Prinzip hat sich durchaus bewährt, da es dem Beobachter, der doch sein ganzes Interesse auf seine Beobachtungen konzentriert, die Überlegung erspart, auf welche Weise er eine eingeleitete Bewegung zu hemmen hat. Die Druckknöpfe sind auf bequemen Handgriffen, Abb. 46, montiert, die durch Kabel mit dem Okularende des Instrumentes verbunden und bequem erreichbar an diesem aufgehängt werden können. Für jede Gruppe der Bewegungen wird ein besonderer Handgriff vorgesehen, damit dem Beobachter Fehlgriffe möglichst nicht passieren können. Eine modern ausgestattete Sternwarte bietet dem Beobachter gegenüber den alten Einrichtungen viele Bequemlichkeiten, die allerdings nicht direkt, wohl aber in sekundärer Beziehung der Wissenschaft zugute kommen, indem sie dem Astronomen seine schwere Arbeit wenigstens körperlich erleichtern und ihn dadurch leistungsfähiger machen.

---

# Verzahnungsfragen, insbesondere das Profil kleinster Reibungsarbeit und die Invarianz gegen Achsenverschiebung.

Von

**H. Bock** in Hamburg.

Die Frage des Zahnprofils wird in der Technik und besonders in der Uhrmacherei im allgemeinen ziemlich partikulär behandelt; man beschränkt sich dabei meistens auf die Zykloiden- und Kreisevolventen-Form. Im folgenden soll das Verzahnungsproblem in allgemeinerer Weise in Angriff genommen und insbesondere soll diejenige Form aufgezeigt werden, die die kleinste mögliche Reibungsarbeit verbürgt. Dabei wird vorausgesetzt, daß der Eingriff bloß hinter der Mittellinie stattfindet, wie es bei Uhren üblich ist; hierdurch wird die Untersuchung vereinfacht. Eine Erweiterung auf Fälle mit beiderseitigem Eingriff erfordert nichts weiter als vermehrte Schreibarbeit.

**1. Problemstellung.** Von der Verzahnung wird kinematisch nur verlangt, daß das Verhältnis der Winkelgeschwindigkeiten beider Räder von der Zeit, d. h. von der Lage des Eingriffspunktes auf der Eingriffskurve unabhängig ist. Auf Grund dieser Forderung kann man nach Aufzeigung des Grundgesetzes zu jedem gegebenen Profil den Partner geometrisch konstruieren. Wir weichen von dieser üblichen Behandlungsmethode ab und setzen die Gestalt $r(\varphi)$ der Eingriffslinie $L$ als in Polarkoordinaten gegeben voraus. Auf ihr läuft ein schreibender Punkt $P$ (Abb. 1) mit beliebiger, von $\varphi$ abhängiger Geschwindigkeit $w(\varphi)$ entlang und zeichnet dabei auf die beiden sich

mit den Winkelgeschwindigkeiten $\omega_1 = \frac{V}{R_1}$ bzw. $\omega_2 = \frac{V}{R_2}$ drehenden Scheiben je eine Profilkurve auf. $V$ ist die von der Zeit unabhängige Geschwindigkeit der Teilkreise $T$. An der Stelle $P$ befindet sich jederzeit der beiden Profilen gemeinsame instantane Schnitt- oder Berührungspunkt. Es fragt sich nun, welche Beziehung zwischen $r(\varphi)$ und $w(\varphi)$ bestehen muß, wenn die Grundbedingung

$$\omega_1 R_1 = \omega_2 R_2 = V \tag{1}$$

immer erfüllt sein soll.

**2. Die Grundgleichungen.** Soll der zu irgendeiner Zeit den beiden Profilen gemeinsame Punkt $P$ kein Schnitt-, sondern ein Berührungspunkt irgendwelcher Ordnung sein, so müssen die beiden instantanen Relativgeschwindigkeiten des Schreibpunktes $P$ auf den beiden Radscheiben stets parallel sein; sorgt man weiter dafür, daß diese parallelen Relativgeschwindigkeiten senkrecht zum Radiusvektor $r$ stehen, so liegen auch die Profiltangenten $G$ normal zu $r$, und die beiden Scheiben haben in $P$ dieselbe Geschwindigkeitskomponente in Richtung $r$, denn die Profile können sich weder voneinander entfernen noch ineinander eindrücken. Somit gilt in diesem Fall:

$$R_1 \cdot \cos\varphi \cdot \omega_1 = R_2 \cdot \cos\varphi \cdot \omega_2 = V,$$

womit der Forderung 1) Genüge geleistet ist.

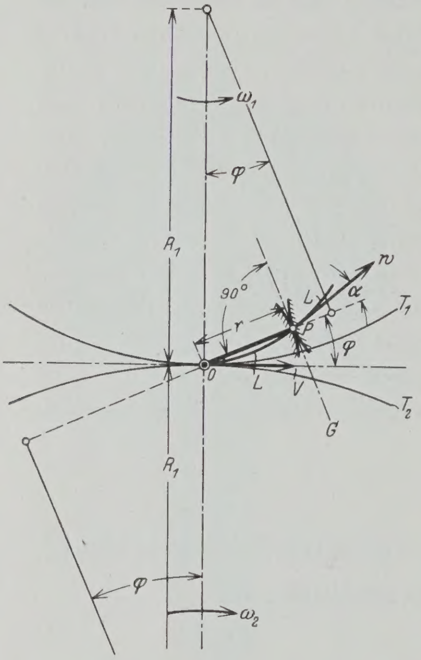



Abb. 1.

Damit dies aber der Fall sei, ist nötig, daß der Schreibpunkt $P$ eine Absolutgeschwindigkeit hat, deren Projektion $w \cdot \cos\alpha$ auf die Richtung $r$ die Größe

$$\omega_1 R_1 \cos\varphi = V \cdot \cos\varphi$$

besitzt. Dann nämlich steht die Richtung seiner Relativgeschwindigkeit gegenüber den Scheiben in der Tat senkrecht auf $r$. Also muß sein:

$$w \cdot \cos\alpha = V \cdot \cos\varphi. \tag{2}$$

Weiter ist geometrisch ohne weiteres ersichtlich, daß

$$\sqrt{dr^2 + r^2 \cdot d\varphi^2} \cdot \cos\alpha = dr \tag{3}$$

ist; die Wurzel ist das Bogenelement der Eingriffskurve. Setzt man $w = k \cdot V$, wobei $k(\varphi)$ im allgemeinen keine Konstante, sondern ebenfalls eine Funktion des Winkel $\varphi$ ist, so kommt: $k \cdot \cos\alpha = \cos\varphi$, und aus Gleichung 3) wird:

$$\frac{dr}{r} = \pm \frac{\cos\varphi \cdot d\varphi}{\sqrt{k^2 - \cos^2\varphi}}, \tag{4}$$

oder anders geschrieben:

$$k = \cos\varphi \cdot \sqrt{1 + r^2 \cdot \left(\frac{d\varphi}{dr}\right)^2}. \tag{4'}$$

Die Gleichungen 1), 2) und 4) erledigen das Problem und geben den notwendigen Zusammenhang zwischen $r(\varphi)$ und $w(\varphi)$, d. h. zwischen der Gestalt der Eingriffskurve und der Geschwindigkeit, mit der sie von $P$ durchlaufen werden muß. Insbesondere sind in 4) alle überhaupt möglichen Profilkurven enthalten. Damit ist aber noch nicht gesagt, daß alle Funktionen, die 4) erfüllen, als Zahnkurven ausgeführt, auch

praktisch brauchbar wären; z. B. kann es vorkommen. daß sich eine Berührung gerader Ordnung mit einer ungeraden Zahl beiden Profilen gemeinsamer „unendlich naher“ Punkte ergibt, so daß sich die Profile zwar in $P$ berühren, aber trotzdem überschneiden, womit die materielle Ausführbarkeit unmöglich wird. Natürlich wäre eine Berührung recht hoher Ordnung schon im Interesse der Abnutzung erwünscht, weil dann die Anschmiegung inniger und die Berührungsfläche praktisch breiter wird.

**3. Lösungen.** Bei der Aufsuchung von Lösungen der Gleichungen 4) kann man so vorgehen, daß man die Gleichung der Eingriffsbahn annimmt und dann mit Hilfe von 4′) die erforderliche Geschwindigkeit des Punktes $P$, nämlich $k(\varphi)$. $V$, ermittelt; das geht ohne Integration ab. Umgekehrt kann man auch $k(\varphi)$ voraussetzen und danach aus 4) die Eingriffskurvenform durch Integration feststellen. Wir wählen zunächst den zweiten, formal umständlicheren Weg und geben einige naheliegende Beispiele.

Vorher möge noch darauf hingewiesen werden, daß es wünschenswert ist, daß die Eingriffskurve durch den Mittelpunkt $O$ geht. Erreicht sie nämlich die Zentrale an anderer Stelle als in $O$, so müßte die Profiltangente dort nach dem Grundgesetz parallel zur Teilkreistangente stehen, und eine Kraftübertragung wäre unmöglich. Diese würde dann lediglich auf die andern gleichzeitig im Eingriff befindlichen Zähne abgewälzt, und das wäre zumindest unökonomisch. Soll die Eingriffskurve aber nach $O$ gelangen, so muß $r$ null sein können, und das ist nach Gleichung 4) nur dann möglich, wenn $k = \pm \cos\varphi$ werden kann, zugleich aber in diesem Fall $\frac{d\varphi}{dr}$ nicht verschwindet, weil $r$ sonst ein unbestimmter Wert würde.

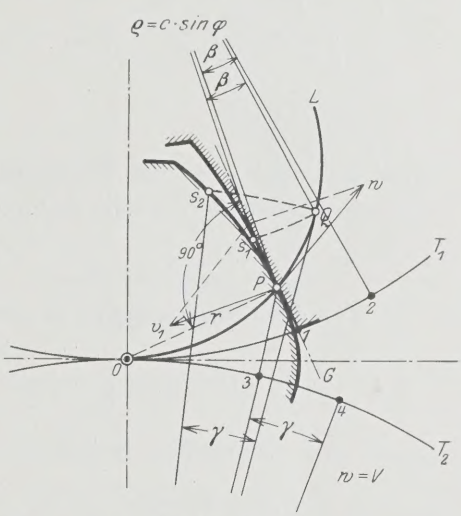


Abb. 2.

a) Es sei $k = 1$, also $w = V$. Der Schreibpunkt soll sich also auf der Eingriffsbahn gleichförmig und ebenso schnell bewegen wie die Teilkreise. Dann liefert 4) nach einfacher Integration die Eingriffskurven:

$$r_1 = C \cdot \sin\varphi, \qquad r_2 = \frac{C}{\sin\varphi}. \tag{5}$$

$r_1$ ist der bekannte Kreis $L$ der Zykloiden-Verzahnung vom Durchmesser $C$ (Abb. 2). Der Beziehung $w = V$ entsprechend kann man ihn sich als auf den Teilkreisen und mit ihnen mitrollend vorstellen, wie es in der Technik geschieht. In der Abbildung sind die zu ihm gehörigen Profile wie folgt gefunden: Während der Zeit, in der $P$ bis nach $Q$ wandert, drehen sich die Teilkreise $T$ um die ebenso langen Bogen $\widehat{12}$ bzw. $\widehat{34}$. Dreht man sie nun um die entsprechenden Winkel $\beta$ bzw. $\gamma$ zurück, so ergeben sich die $Q$ zugeordneten Profilpunkte $s_1$ und $s_2$. Wie gefordert, setzt sich die Fortschreitungs-Geschwindigkeit $w$ von Punkt $P$ auf der Eingriffsbahn und die negative Systemgeschwindigkeit $v_1$ der oberen Scheibe ($v_1 < V$) zu einer mit der Profiltangente $G$ zusammenfallenden, auf $r$ senkrechten Resultanten zusammen. — Macht man im Grenzfall $C$ gleich dem oberen Teilkreisdurchmesser $2\,R_1$, so degeneriert die Profilform zur „Punktverzahnung“ (Abb. 3); der zum „Triebstock“ erweiterte Punkt

erfordert als Partner eine Äquidistante zur Zykloide $FF$, und die wahre Eingriffsbahn geht in die Gestalt $L'$ über. Der Eingriff beginnt also jetzt schon etwas vor der Mitte. — Eine weitere Vermehrung von $C$ über $2\,R_1$ hinaus hätte keinen Zweck, weil dann unbrauchbare Profilkurven entstünden, wie wir gleich sehen werden.

Analytisch kommt der Übergang der Zykloide in die Äquidistante dadurch zum

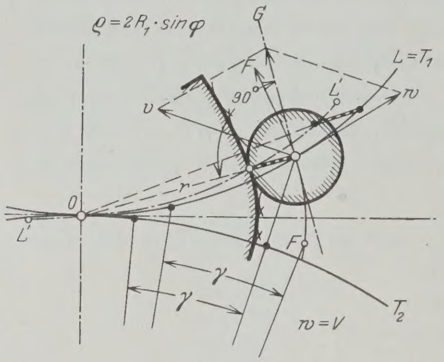



Abb. 3.

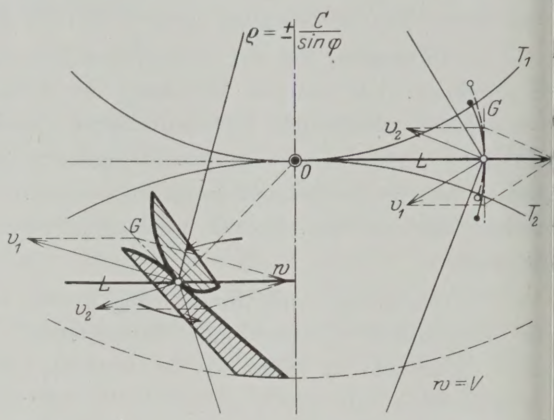



Abb. 4.

Ausdruck, daß statt des Radiusvektors $r$ der Wert $r' + c$ gesetzt wird, worin $c$ der Triebstockhalbmesser. Somit lautet die Gleichung der modifizierten Eingriffsbahn $L'L'$:

$$r' = C \cdot \sin\varphi - c\,.$$

Für die Geschwindigkeit $w$ des Schreibpunktes auf $L'L'$ folgt aus 4'):

$$w = \cos\varphi \sqrt{1 + r'^2 \cdot \left(\frac{d\varphi}{dr'}\right)^2} = \sqrt{1 + \frac{c^2}{C^2} - 2\,\frac{c}{C} \cdot \sin\varphi}\,;$$

$w$ ist also veränderlich geworden. — Durch die Substitution $r' = r \pm c$ kann man aus einem Profilpaar beliebig viele andere ableiten, die zum Ausgangspaar im allgemeinen nicht kongruent sind.

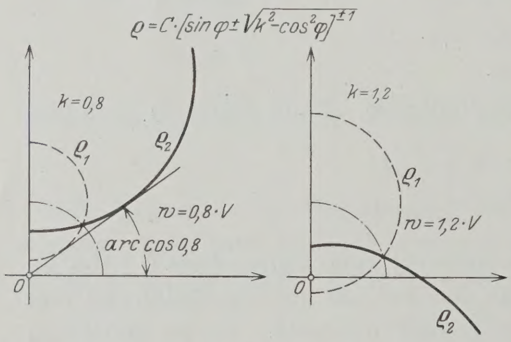



Abb. 5.

Die Gleichung $r_2 = \dfrac{C}{\sin\varphi}$ liefert als Eingriffskurven $L$ zur Teilkreistangente parallele Geraden, deren zwei in Abb. 4 dargestellt sind. Die obere ($C = \varphi = 0$), die als Grenzfall der Epi- und Perizykloiden angesprochen werden kann, erzeugt sich überschneidende, unbrauchbare Profile mit einer Berührung gerader Ordnung, die untere aber Zahnformen, die höchstens als seitliche Ansätze an Scheiben zu gebrauchen wären. — Man beachte, daß $r_1$ und $r_2$ konstantes Produkt haben, daß also die eine Kurvenschar aus der anderen durch Spiegelung am Kreise entsteht. So ist es auch bei den meisten der weiter besprochenen Fälle.

**b)** $k$ sei wieder konstant, aber nicht gleich 1, sondern gleich $a$. Dann liefert die Integration von 4) die Lösungen:

$$r_{1,2} = C \cdot \left[\sin\varphi \pm \sqrt{a^2 - \cos^2\varphi}\right]^{\pm 1}, \qquad 6)$$

also wieder Kurvenscharen, die paarweise am Kreise vom Radius $C$ gespiegelt sind. Vergleiche Abb. 5, wo die Eingriffsbahnen als $\varrho_1$ und $\varrho_2$ für zwei Sonderfälle gezeichnet sind. Die Spiegelkreise sind strichpunktiert angegeben. Durch $O$ gehen diese Bahnen nicht.

Macht man speziell $a = \cos\varphi$, somit $\varphi$ selber konstant, so degeneriert die Form 6) in eine durch $O$ gehende Gerade, und wir bekommen die bekannte Zahnform der Kreisevolvente. Die gerade Eingriffslinie mit dem auf ihr befestigten Schreibpunkt $P$ (Abb. 6) kann hier bekanntlich als auf den nicht mitgezeichneten „Grundkreisen" rollend vorgestellt werden. Durch Spiegelung an irgendeinem Kreise geht diese Gerade in sich selbst über. In der Skizze sind wieder die Winkel $\beta$ und $\gamma$ angegeben, desgleichen die negativen Systemgeschwindigkeiten $v_1$ und $v_2$ und die Resultanten aus ihnen und $w$, die beide mit der Profiltangente $G$ zusammenfallen, wie es sein muß. Wendet man die Substitution $r' = r \pm c$ auf die Evolvente an, so geht das

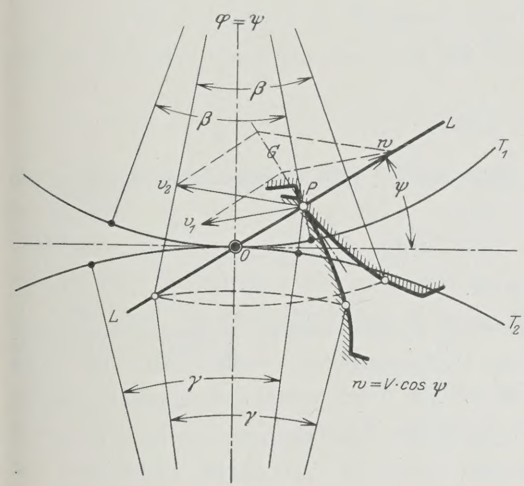


Abb. 6.

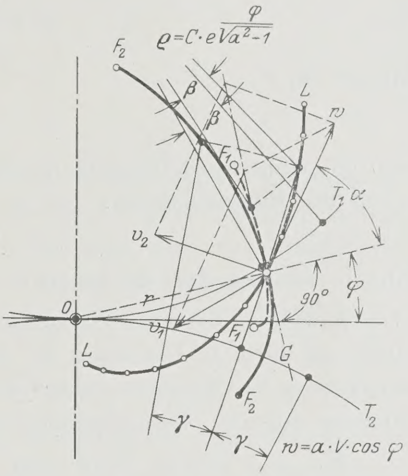


Abb. 7.

Profil in eine kongruente, äquidistant gelegene Form über; die Zähne eines Evolventenrades haben somit sämtlich äquidistante Profile. Von dieser Tatsache macht man bekanntlich Gebrauch bei der Gestaltung der Stirnverbindungen bei Dynamos. — Später werden wir sehen, daß der Evolventenform aus verschiedenen Gründen große Bedeutung zukommt, so daß sie wohl als die beste Lösung anzusehen ist.

c) Es sei $k = a \cdot \cos\varphi$, also nicht mehr konstant. Dann kommt durch Integration von 4):

$$r_{1,2} = C \cdot e^{\pm \frac{\varphi}{\sqrt{a^2-1}}} \qquad 7)$$

als Eingriffslinie. Das bedeutet eine logarithmische Spirale, die mit den Zahnflanken $F_1 F_1$ und $F_2 F_2$ in Abb. 7 dargestellt ist, und zwar für $a = 1{,}63$, was für den konstanten Winkel $\alpha$ zwischen Eingriffskurventangente und Radiusvektor den Wert $\operatorname{arc}\cos\frac{1}{a} = 52^0$ liefert. Auf der Spirale $LL$ sind diejenigen Strecken mit Nullkreisen markiert, die vom Schreibpunkt in gleichen Zeiten zurückgelegt werden. Leider besitzen diese schönen Profile wieder eine Berührung von gerader Ordnung, die ihre praktische Ausführbarkeit verhindert.

**d)** Wählt man $k^2 = (2 - k^2 \cdot \sin^2\varphi)\cos^2\varphi$, so führt Beziehung 4) auf ein elliptisches Integral erster Gattung:

$$\ln r = \int \frac{d\varphi}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2\varphi}}\,; \qquad 8)$$

$k = 0$ liefert den Arcus und damit wieder die logarithmische Spirale; $k = 1$ aber ergibt:

$$r_{1,2} = C \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right)^{\pm 1}. \qquad 9)$$

Abb. 8 zeigt die Eingriffskurven $\varrho_{1,2}$ für diesen Fall. Sie erreichen den Punkt $O$ für $\cos\varphi = 0$, denn für $\varphi = \frac{\pi}{2} + n \cdot \pi$ ist hier $\frac{d\varphi}{dr} \neq 0$.

**e)** Durch die Wahl

$$k^2 = \frac{(2 - \varkappa^2 \sin^2\varphi) \cdot \cos^2\varphi}{1 - \varkappa^2 \cdot \sin^2\varphi}$$

kommt für $r$:

$$\ln r = \int \sqrt{1 - \varkappa^2 \sin\varphi} \cdot d\varphi\,,$$

also ein elliptisches Integral zweiter Gattung. $\varkappa = 0$ gibt wieder den Arcus, aber $\varkappa = 1$ die Eingriffskurven:

$$r_{1,2} = C \cdot e^{\pm \sin\varphi}. \qquad 10)$$

Abb. 9 stellt sie dar; sie gehen nicht durch 0.

Inwieweit diese verschiedenen $r$ brauchbare Profile liefern, bleibe dahingestellt. Auch mit dem in Gleichung 4') enthaltenen Umkehrproblem wollen wir uns nicht eingehender beschäftigen; später werden wir freilich noch einmal auf dasselbe zurückkommen müssen. Bemerkenswert sind die einfachen Ansätze;

**f)**

| | | |
|---|---|---|
| $r = a;$ | $k = \infty$ | (Kreis) |
| $r = a \cdot \varphi;$ | $k = \cos\varphi \cdot \sqrt{1 + \varphi^2}$ | (archimedische Spirale) |
| $r = \frac{a}{\varphi};$ | $k = \cos\varphi \cdot \sqrt{1 + \varphi^2}$ | (hyperbolische Spirale). |

Ein Kreis um $O$ als Eingriffsbahn ist also unbrauchbar; die beiden letzten Fälle liefern für hinreichend kleine Winkel ein ziemlich konstantes $k$; der Fall der archimedischen Spirale geht bei passend gewähltem Ursprung $= \varphi$ in die Kreisevolvente über, wenn $a$ gegen $\infty$ konvergiert.

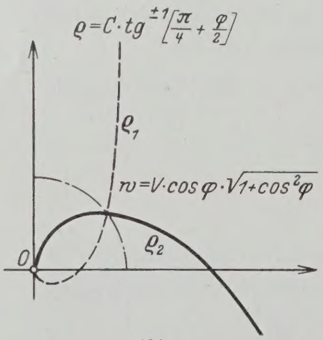


Abb. 8.

Viel Positives liefern alle diese Lösungen zunächst nicht, außer der Einsicht, daß die von der Technik benutzten Formen besonders naheliegende Sonderfälle sind.

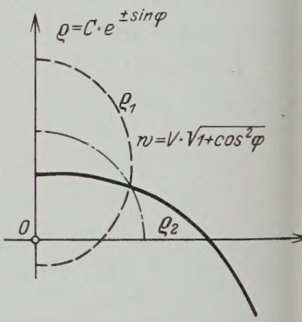


Abb. 9.

Hingewiesen sei nur noch darauf, daß in gleichen Zeitdistanzen über die Eingriffskurve mit der Geschwindigkeit $w$ laufende Punkte natürlich auch Zahnprofile erzeugen, die in gleichen Abständen auf den Teilkreisen stehen und einander kongruent

sind; ist $s$ der Bogen der Eingriffsbahn von 0 an gerechnet, so sind die $\frac{\partial w}{\partial s}$ zwar nicht Null, wohl aber die $\frac{\partial w}{\partial t}$.

**4. Die Zahnreibungsarbeit.** An Abb. 1 erkennt man, daß die linke, zum unteren Rade gehörige Profilflanke an ihrem Partner nach unten abgleitet; die Zahnreibung unterstützt also im Falle des hinter der Mitte liegenden Eingriffs die Drehung des oberen, getriebenen Rades, und die auf seine Drehachse bezogene Momentengleichung liefert den Zahndruck $K$:

$$K \cdot R_1 \cdot \cos\varphi + K \cdot \mu \cdot (R_1 \cdot \sin\varphi - r) = M_1, \tag{11}$$

worin $\mu$ der Coulombsche Reibungskoeffizient und $M_1$ das am oberen Rade angreifende Moment bedeuten. Auch die Geschwindigkeit $u$, mit der die beiden Flanken aufeinander gleiten, ist sofort ersichtlich:

$$u = \omega_2 \cdot (R_2 \cdot \sin\varphi + r) - \omega_1 \cdot (R_1 \cdot \sin\varphi - r),$$

was mit Rücksicht auf Gleichung 1) so viel ist wie:

$$u = V \cdot r \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right). \tag{12}$$

Die außer dieser Gleitung noch auftretende Rollreibung, die mit der Winkelgeschwindigkeit $\omega_1 + \omega_2$ von statten geht, werde bei der Bestimmung der Reibungsarbeit außer acht gelassen. Aus 12) erhellt die bekannte Tatsache, daß der Eingriff abgesehen vom Mittelpunkt $O$, wo $r = 0$ ist, niemals ohne Gleiten fortschreitet.

Jetzt ist die Reibungsarbeit $A$ eines Zahnes, von 0 aus bis zum Eingriffsende gerechnet, angebbar:

$$A = \mu \cdot \int K \cdot u \cdot dt. \tag{13}$$

Allerdings greifen zeitweise mindestens zwei Zähne gleichzeitig ein, weil die Verbindung der Räder sonst für unendlich kurze oder auch endliche Zeit unterbrochen würde; damit wird das Problem der Zahndruckbestimmung statisch unbestimmt. Nehmen wir aber in erster Näherung an, daß sich der Druck auf die gleichzeitig im Eingriff befindlichen Zähne stets gleichmäßig verteilt, so gewinnt Gleichung 13) auch für diesen Fall Gültigkeit; sie liefert dann die gesamte Reibungsarbeit für die Zeit, die ein Profil vom Beginn bis zum Schluß eines Eingriffs gebraucht. Denn befinden sich etwa während der ersten $20^0/_0$ der Tätigkeit des Zahnes $n$ er selbst und der $(n+1)^{te}$ Zahn im Eingriff, so ist ersterer während der folgenden $60^0/_0$ auf sich selbst gestellt, während ihn Zahn $n-1$ in den letzten $20^0/_0$ unterstützt; somit wiederholt sich der Vorgang in den $20^0/_0$igen Außenbezirken, und zwar derart, daß Zahn $n$ einmal die Rolle des nachfolgenden und zuletzt die des vorangehenden Zahnes spielt, beide Male mit halber Belastung. Eventuelle Unterschiede der Reibungsarbeit in den Außenbezirken gleichen sich also aus.

Eliminiert man $dt$ aus Gleichung 13) mit Hilfe der Relation [vgl. 2)]:

$$dr = w \cdot \cos\alpha \cdot dt = V \cdot \cos\varphi \cdot dt,$$

so kommt für $A$ nach Einführung der Werte für $K$ und $u$ aus 11) und 12):

$$A = \mu \cdot \frac{M_1}{R_1}\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \cdot \int_0^{\bar{r}} \frac{r \cdot dr}{\cos\varphi\left(\cos\varphi + \mu \cdot \sin\varphi - \frac{\mu}{R_1} \cdot r\right)}. \tag{14}$$

Darin ist $\bar{r}$ der Abstand des äußersten Punktes der Eingriffskurve vom Mittelpunkt $O$.

Für die Evolvente, die uns besonders interessiert, läßt sich das Integral wegen der Konstanz von $\varphi$ leicht auswerten; es ist:

$$J = \int_0^{\bar{r}} \frac{r \cdot dr}{A - B \cdot r} = -\frac{\bar{r}}{B} - \frac{A}{B^2} \cdot \ln\left(1 - \frac{B}{A}\bar{r}\right), \tag{15}$$

worin

$$A = \cos\varphi \cdot (\cos\varphi + \mu \cdot \sin\varphi)$$

und

$$B = \frac{\mu}{R_1} \cdot \cos\varphi\,.$$

Da in praxi $B \cdot \bar{r} \ll A$, so entwickeln wir den Logarithmus in einer Reihe und brechen nach dem zweiten Gliede ab:

$$J = \frac{\bar{r}^2}{2\,A} = \frac{\bar{r}^2}{2 \cdot \cos\varphi\,(\cos\varphi + \mu \cdot \sin\varphi)}. \tag{16}$$

Setzt man

$$\frac{dA}{d\varphi} = 0,$$

so kommt:

$$\varphi = \tfrac{1}{2} \cdot \operatorname{arctg} \mu\,, \tag{17}$$

und das ist derjenige Steigungswinkel der Eingriffsgeraden, für den die Reibungsarbeit des Evolventenprofils ein Minimum wird. Für den nicht unerheblichen Wert $\mu = 0{,}2$ wird $\varphi = 5^0\,40'$, der offenbar nur sehr kleine Zähne zuläßt. Die Technik bevorzugt aus Festigkeitsgründen größere Winkel, gewöhnlich $15^0$. Da $\frac{1}{A}$ für $\varphi = 5^0\,40'$ den Wert 0,990 annimmt, und 1,017 für $15^0$, so bedeutet die Wahl dieses Winkels eine Vermehrung der Reibungsarbeit um 2,7 $^0/_0$.

**5. Das Profil kleinster Reibungsarbeit.** Um es zu finden, hat man das Integral $J$ in Gleichung 14) zu einem Extremum zu machen. Da $r$ in ihm die Rolle des unabhängigen Argumentes spielt, so muß werden:

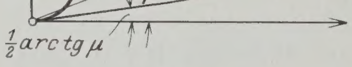


Abb. 10.

$$\frac{\partial f}{\partial \varphi} - \frac{d}{dr}\,\frac{\partial f}{\partial\left(\frac{d\varphi}{dr}\right)} = 0,$$

worin $f$ der Integrand. Weil $f$ aber $\frac{d\varphi}{dr}$ nicht enthält, so bleibt $\frac{\partial f}{\partial \varphi} = 0$ als Bedingung übrig. Das Extremale umfaßt also keine Ableitungen mehr, und wir brauchen nicht zu integrieren; es folgt vielmehr sofort als Polargleichung der Eingriffskurve kleinster Reibung:

$$r = \frac{R_1}{\mu}\left(2\cos\varphi + 2\,\mu\sin\varphi - \frac{\mu}{\sin\varphi}\right). \tag{18}$$

Für diese Eingriffsbahn ist die Reibungsarbeit zwischen $r = 0$ und der bei der Variation festen, aber sonst beliebigen oberen Grenze $r = \bar{r}$ ein Extremum, das gefühlmäßig unschwer als Minimum erkannt wird. In Abb. 10 ist die zugehörige Kurve

für $\mu = 0{,}2$ maßstäblich dargestellt. Man bemerkt ihre außerordentlich geringe Krümmung für kleine $r$; für $\varphi = 0$ würde sie sogar in die Abszissenachse übergehen (vgl. Abb. 4, S. 102). Wir begehen daher nur einen verschwindend kleinen Fehler, wenn wir sagen: Die Evolvente ist die Kurve kleinster Reibungsarbeit. Denn sie hat ja eine geradlinige Eingriffskurve (Abb. 6). Übrigens folgt aus 18) der Winkel, mit dem die Kurve der Abb. 10 in den Ursprung eingeht, mit $r = 0$ wieder zu:

$$\varphi = \tfrac{1}{2} \operatorname{arctg} \mu ,$$

wie unter Punkt 4 bei der Evolvente selbst. Wie schon erwähnt, weicht die technische Evolvente von dieser optimalen Form etwas ab.

**6. Invarianz des Zahnprofils gegenüber Transformation der Achsendistanz.** Wesentlich für viele Verzahnungen ist, daß der Eingriff durch Änderungen der Achsendistanz nicht gestört wird; denn die Zapfenlager haben bei feinmechanischen Apparaten — insbesondere auch bei Uhren — immer etwas Luft. Wir wollen die Bedingungen untersuchen, die die Profile erfüllen müssen, um dieser Forderung gerecht zu werden.

An Abb. 11 zeigen wir zunächst eine geometrische Form des Grundgesetzes der Verzahnung. Seien $K_1$ und $K_2$ die Krümmungsmittelpunkte der beiden gerade im Eingriff befindlichen Profilelemente. Für eine infinitesimale Verrückung können wir die Flanken durch ihre Krümmungskreise ersetzt denken, können also die Strecke $K_1 K_2$ als von unveränderlicher Länge ansehen. Dann wird das System zu einem Vier-Zylinder-Getriebe mit den festen Punkten $A$ und $B$ und dem Steg $K_1 K_2$. Verlangt wird, daß die Gerade $K_1 K_2$ auch nach der Verrückung noch durch den Punkt $O$ geht, den sie ja als Profilnormale nicht verlassen darf. Der Geschwindigkeitspol (instantane Drehpunkt) von $K_1 K_2$ muß daher auf der Geraden $s$ liegen, die in $O$ auf $K_1 K_2$ senkrecht steht; dann nämlich erleidet $K_1 K_2$ bei der Verrückung bloß eine Verschiebung durch $O$ hindurch. Da andererseits dieser Geschwindigkeitspol auf den Geraden $K_1 A$ und $K_2 B$ liegt, weil $A$ und $B$ feste Drehpunkte sind, so folgt als

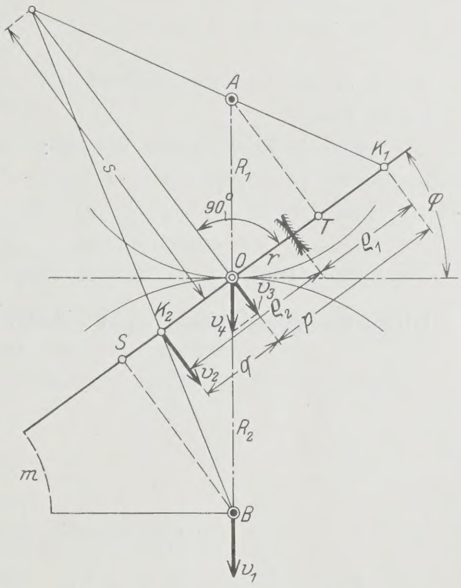


Abb. 11.

Hauptgesetz: Bei jeder Verzahnung müssen sich jederzeit die von den instantan in Betracht kommenden Profil-Krümmungsmittelpunkten $K$ durch die Drehachsen gezogenen Strahlen auf einer Geraden $s$ schneiden, die in $O$ auf dem Radiusvektor $r$ senkrecht steht. Dieser Satz läßt sich auch leicht analytisch formulieren. Aus ähnlichen Dreiecken folgt:

$$s = R_1 \cdot \cos\varphi \cdot \frac{p}{p - R_1 \sin\varphi} = R_2 \cdot \cos\varphi \cdot \frac{q}{R_2 \sin\varphi - q}. \qquad 19)$$

Die beiden rechten Terme von 19) stellen die Bedingung dar, die zwischen den Krümmungsradien $\varrho_1 = p - r$ und $\varrho_2 = q + r$ bestehen muß; in ihr sind $r$ und $\varphi$ variable, aber gegebene Größen.

Und nun ein zweiter Schritt: Wir denken uns das obere Rad feststehend, also ohne Rotation, und rücken die Achse $B$ des unteren um die Strecke $dl$ nach unten, also von $A$ weg. Dann dreht sich der fiktive Steg $K_1 K_2$, dauernde Profilberührung

vorausgesetzt, um das feststehende $K_1$, und Punkt $O$ wandert ebenfalls abwärts. Der Teilkreisschnittpunkt $O$ mit der Zentrale $AB$ muß aber ein Gleiches tun, wenn das Übersetzungsverhältnis erhalten bleiben soll, und zwar muß 0 offenbar um

$$\frac{R_1}{R_1+R_2}\cdot dl$$

sinken. Tut der Schnitt von $K_1 K_2$ mit der Zentrale quantitativ dasselbe, so bleibt die Richtigkeit des Eingriffs gewahrt, weil $K_1 K_2$ nach wie vor durch den Berührungspunkt der Teilkreise geht. Bewegt man nun $B$ mit der Geschwindigkeit $v_1$ nach unten, so gilt nach Abb. 11, da $m$ der Geschwindigkeitspol der „Stange“ $BK_2$ ist:

$$\frac{v_2}{v_1}=\frac{\frac{R_2}{\sin\varphi}-q}{R_2\cdot\cos\varphi};$$

ferner

$$\frac{v_3}{v_2}=\frac{p}{p+q};$$

und

$$\frac{v_4}{v_3}=\cos\varphi,$$

worin $v_4$ die Geschwindigkeit ist, mit der der Schnittpunkt $O$ auf der Zentrale abwärts gleitet.

Durch Elimination kommt:

$$\frac{v_4}{v_1}=\frac{p}{p+q}\cdot\frac{R_2-q\cdot\sin\varphi}{R_2\cdot\cos^2\varphi}. \tag{20}$$

Da dieser Quotient nach dem eben Gesagten gleich $\frac{R_1}{R_1+R_2}$ sein muß, wenn das Übersetzungsverhältnis nicht gestört werden soll, so wird aus 20) nach Einsetzen der Werte für $p$ und $q$ aus 19) schließlich:

$$\frac{\cos\varphi}{s}=0.$$

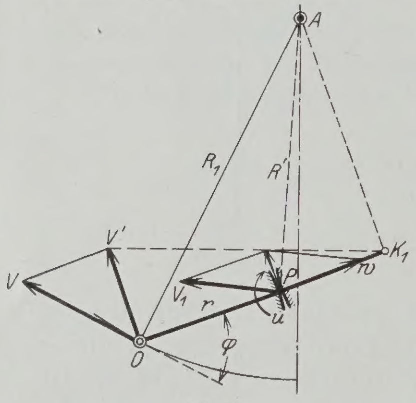


Abb. 12.

$\cos\varphi$ kann aber nicht identisch verschwinden, weil dann nach Gleichung 4′) die Geschwindigkeit $w$ auch zu Null würde, und die Profile in die Teilkreise übergingen; also muß $s$ unendlich sein, wenn eine Entfernung der Achsen voneinander unbeschadet des richtigen Eingriffs möglich sein soll. Das bedeutet aber laut Abb. 11, daß $AK_1$ und $BK_2$ parallel zu $s$ werden und daß die instantanen Krümmungsmittelpunkte der Profile nach $S$ bzw. $T$ fallen müssen, oder anders gesagt: Ein Profilformenpaar ist dann invariant gegen Änderungen der Achsendistanz, wenn die Krümmungsmittelpunkte stets da liegen, wo die Lote aus den Achsen auf den Fahrstrahl $r$ einfallen.

Nun läßt sich leicht zeigen, daß die Evolvente die einzige Form ist, die diese Bedingung erfüllt (vgl. Abb. 12). Um die Profilform des oberen Radzahnes zu finden, wenn die Eingriffskurve und die Geschwindigkeit $w$ des auf ihr laufenden Schreibpunktes gegeben ist, vollziehen wir in Gedanken eine kinematische Umkehrung, indem wir die obere Scheibe als Bezugssystem auffassen, sie also für feststehend und den unteren Teilkreis an dem oberen nach links abrollend denken. Ist der Berührungs-

punkt beider etwa bis $O$ gelangt, so liegt die durch den Schreibpunkt $P$ gehende Profilnormale vielleicht in der Richtung $OP$. Punkt $O$ wandert mit der Geschwindigkeit $V = \omega_1 R_1$ und besitzt senkrecht zu $OP$ die Komponente $V'$. Dagegen muß $P$ nach dem Grundgesetz selber senkrecht zur instantanen Lage von $OP$ fortschreiten; und zwar setzt sich, wie bekannt, diese Geschwindigkeit $u$ zusammen aus der Geschwindigkeit $v_1$ des der Scheibe angehörenden „Führungspunktes" und aus der Geschwindigkeit $w$ von $P$ auf der Eingriffskurve (vgl. auch Abb. 6). Also darf, wenn $K_1$ der Krümmungsmittelpunkt des oberen Profilelementes sein soll, die aus $v_1$ und $w$ resultierende Geschwindigkeit nicht größer sein als die mit $u$ bezeichnete Strecke. Dieses $u$ ist aber gleich der Projektion von $v_1$ auf die Resultante; denn die Projektionen der einzelnen Punktgeschwindigkeiten auf eine zur Geraden $OP$ normale Richtung repräsentieren eine Drehung um den Punkt $K$, worüber sich noch eine bei allen Punkten gleich große Längsverschiebung lagert, weil $A$ der Geschwindigkeitspol ist. Somit darf $w$ keine Komponente haben, die senkrecht auf $OP$ steht, oder anders gesagt, $P$ darf sich von $O$ immer nur geradlinig entfernen, muß also eine gerade Bahn beschreiben. Diese aber ist die Eingriffslinie der Kreisevolvente. Womit bewiesen ist, daß außer dieser kein Profil die Bedingung der Invarianz gegen Transformation der Achsen erfüllt.

### 7. Zusammenfassung:

Es wird das Differentialgesetz aufgezeigt, das zwischen der Form der Eingriffslinie und der Geschwindigkeit des auf ihr fortschreitenden Schreibpunktes bestehen muß, wenn ein brauchbares Profil herauskommen soll. Damit ist die Möglichkeit gegeben, beliebig viele Profilpaare auf analytischem Wege ausfindig zu machen. — Ferner wird erwiesen, daß die Kreisevolvente nicht nur die einzige Profilform ist, bei der unbeschadet des richtigen Eingriffes die Entfernung der Radachsen beliebig geändert werden kann (wie es bei Uhren häufig vorkommt), sondern auch, daß die Evolvente bei passend gelegter Eingriffsgeraden die kleinste mögliche Reibungsarbeit garantiert.

---

## Die Riefleruhr mit Schwerkrafthemmung.

Von

**H. Bock** in Hamburg.

Erstklassige Präzisionsuhren sind teuer, kompliziert und sehr empfindlich, besonders gegen Erschütterungen. Daher ist es zu begrüßen, daß die Firma Clemens Riefler in Nesselwang und München ein Werk geschaffen hat, das diese üblen Eigenschaften nicht besitzt, aber trotzdem zwar nicht den höchsten, jedoch recht hohen Anforderungen genügt. Ein Hauptschritt auf dem Wege zum Ziel war die Beseitigung der Pendelfeder und ihr Ersatz durch die Schneidenaufhängung. An sich scheint das ein gewagter Schritt zu sein, aber die Erfahrungen von etwa 10 Jahren haben ihn gerechtfertigt.

Wie schon angedeutet, hat Riefler durch seine Neukonstruktion (DRP. Nr. 272119) nicht beabsichtigt, die altbewährte Ausführungsform mit Federkraftgang auf eine höhere Stufe der Vollkommenheit zu heben; im Gegenteil, er hat bei ihr bewußt auf höchste Schärfe verzichtet, in der Absicht, ein relativ billiges, leicht zu handhabendes und wenig empfindliches Werk zu schaffen. Bei ihm sind Gangstörungen, die von nicht ganz einwandfreier Aufstellung herrühren und bei Federkraftgängen dann und wann

beobachtet sind, kaum zu befürchten, und der Hersteller vermag wegen der Einfachheit der Konstruktion sogar eine gewisse Mindestgenauigkeit zu garantieren. (Mittlere Variation $\pm$ 0,05 bis 0,08 sek/Tag$^2$.)

Einer der bemerkenswertesten Züge der neuen Uhr ist also die Schneidenaufhängung des Pendels, die hier schon deshalb nicht gut umgangen werden konnte, weil es sich um eine Hemmung mit Schwerkraftantrieb handelt. Die dabei auftretenden seitlichen Drücke auf das obere Ende der Pendelstange würden nämlich bei Federaufhängung unter Umständen Oberschwingungen der Stange zu verursachen vermögen, die in einer minimalen Hin- und Herbewegung des oberen Stangenendes („Stimmgabelbewegung“) bestehen. (Auf diesen Punkt hat Shortt merkwürdigerweise keine Rücksicht genommen.) Außerdem ist die Feder überhaupt wegen ihrer hohen Beanspruchung ein Konstruktionsteil, der leicht zu Störungen Veranlassung geben kann, insbesondere durch Ermüdungserscheinungen. In *dieser Zeitschr.* ***46.*** *S. 445—453. 1926* habe ich den Einfluß des Elastizitätsmoduls der Feder auf die Schwingungsdauer rechnerisch zu ermitteln gesucht und dabei festgestellt, daß seine Vermehrung um ein Promille etwa $^1/_{20}$ Sekunde Voreilen je Tag zu bewirken vermag. Dieser Punkt scheint zu wenig beachtet zu werden.

Bei der Schneidenaufhängung pflegt man wohl in erster Linie eine Pendelverlängerung durch Schneidenabnutzung zu befürchten, eine Störung, die Schuler durch Anbringung der Schneiden im Punkte der kürzesten Schwingungsdauer zu beseitigen trachtet. Riefler wendet dieses Mittel nicht an, sondern benutzt seine bekannten Nickelstahl-Pendel; da es sich hier nicht um höchste Präzision, sondern mehr um möglichst große Unempfindlichkeit handelt, scheidet dieser Punkt wohl auch mit Recht aus. Bei der Schneide ist zu beachten, daß sie im besten Falle nichts anderes ist als ein Zylinder mit sehr geringem Radius (Abb. 1), der sozusagen in einer flachen Mulde rollt; die Dauer der Halbschwingung beträgt dann bei hinreichend kleiner Amplitude

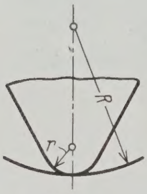


Abb. 1.

$$T = \pi \cdot \sqrt{\frac{\Theta}{M \cdot g\left(e + \frac{R \cdot r}{R - r}\right)}}\ \text{s}, \qquad 1)$$

worin $\Theta$ das Trägheitsmoment und $M$ die Masse des Pendels, sowie $e$ der Schwerpunktsabstand von der Drehachse. Also auch durch Veränderung der Radien vermag die Abnutzung des Schneidensystems Gangänderungen zu verursachen. Störungen durch untergeklemmte Staubteilchen braucht man bei sauber eingebauten Werken wohl kaum zu befürchten; auch ließen sie sich schnell beseitigen, zumal die Schneiden bei Riefler leicht angehoben werden können. Ein weiterer wesentlicher Punkt ist der Rollwiderstand der Schneiden, von dem man gefühlsmäßig kaum wird sagen können, ob er größer oder kleiner ist als der Widerstand der Feder infolge thermodynamischer Einflüsse (vgl. meinen Aufsatz in *dieser Zeitschr.* ***38.*** *S. 109—115. 1918*) und vermöge der elastischen Hysterese des Federmaterials. Bekannterweise definiert man die „Güte“ eines schwingenden Reglers als den Quotienten aus seiner Energie und dem Energiebedarf je Schwingung; ist er klein, so steigt die Güte. Auf meine Bitte hin hat die Firma Riefler Auslaufversuche mit freien schneidengestützten Pendeln angestellt, und zwar einmal bei 690 mm Luftdruck und dann in einem Gehäuse, das dauernd an der Ölluftpumpe hing, d. h. also praktisch bei 0 mm Barometerstand. In Abb. 2 sind die Ergebnisse dieser Versuche angedeutet, und zwar die Amplituden in logarithmischem Maßstab. Die Schaulinie I, die sich auf das lufterfüllte Gehäuse bezieht, zeigt durch ihre Geradlinigkeit deutlich das Exponentialgesetz der Amplituden-

abnahme und damit zugleich die ungefähre Proportionalität zwischen Pendelgeschwindigkeit und Widerstand. Bezeichnet man die Anfangsamplitude mit $\varphi_0$ und die zur Zeit $t$ mit $\varphi$, so besteht die leicht abzuleitende Beziehung;

$$\varphi = \varphi_0 \cdot e^{-\frac{p}{2\Theta} \cdot t}, \qquad 2)$$

worin $p$ der Widerstand für die Winkelgeschwindigkeit 1 und $\Theta$ das Trägheitsmoment des schwingenden Körpers ist. Somit kommt:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\log \varphi_0 - \log \varphi}{t} = \frac{p}{2\Theta}. \qquad 3)$$

$\operatorname{tg} \alpha$ ist also ein Maßstab für den Widerstand. Durch Vergleich mit der für das Vakuum geltenden Schaulinie II erkennt man die außerordentlich große Abnahme, die der Widerstand durch die Evakuierung erfahren hat, zugleich aber auch, daß die Proportionalität zwischen Geschwindigkeit und Widerstand bei Beseitigung des Luftwiderstandes aufgehört hat, oder anders ausgedrückt, daß die Schneiden diesem Gesetz nicht genau Folge leisten, daß ihr Widerstand vielmehr mit abnehmender Bewegungsintensität langsam zunimmt, denn im Laufe der Zeit wird die Kurve II immer steiler. Also scheinen bei der Schneidenrollung ähnliche Umstände obzuwalten wie bei der Gleitreibung, wo ja auch die Reibung der Ruhe einen Maximalwert erreicht. Zu einer genaueren mathematischen Diskussion dieser Verhältnisse ist die Sachlage aber wohl noch nicht reif.

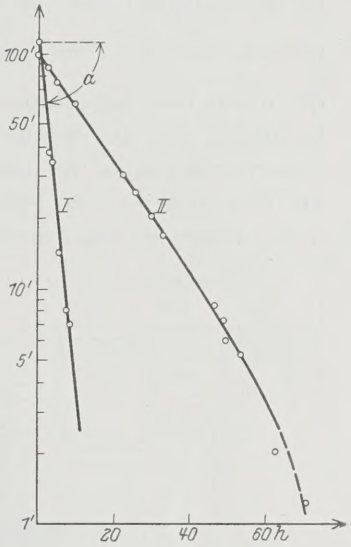


Abb. 2.

Eine ähnlich große Abnahme des Widerstandes erzielt Schuler durch Wasserstoffüllung des Gehäuses. Damit ist der Vorteil verbunden, daß durch das sehr wärmeleitfähige Gas die Anpassung der Pendeltemperaturen an den Außenzustand leichter geschieht als durch das zur Wärmeübertragung vermöge Leitung oder Mischung unfähige Vakuum; Temperaturschichtungen im Pendelkörper können dann also nicht so leicht auftreten.

Da bei dem Versuch, für den die Kurven der Abb. 2 gelten, die Konstruktionsdaten bekannt sind, so läßt sich über die Widerstandsverhältnisse Näheres angeben. Es handelte sich um ein Sekundenpendel von 0,645 kg Stangengewicht und 119 cm Stangenlänge; die Linse wog 7,26 kg und hatte 102,7 cm Abstand von der Schwingachse. Daraus ergibt sich eine Entfernung des Gesamtschwerpunktes bis zur Achse von 0,993 m. Aus der Schwingungsformel folgt noch das Trägheitsmoment zu 0,796 kg m s². Mit Hilfe von Gl. 3) bestimmt sich nun $p$ unter der Annahme, daß der Widerstand zunächst proportional zur Geschwindigkeit sei, z. B. daraus, daß die Schwungweite im Vakuum zu Beginn 99′ und nach 30 h noch 20′ betrug; es ergibt sich: $p = 0{,}926 \cdot 10^{-5}$ kg m s. Jetzt ist auch die pro Schwingung bei 100′ Ausschlag verbrauchte Energie bekannt (Widerstand für die mittlere Geschwindigkeit $\frac{\pi^2}{4T} \cdot \bar{\alpha} \cdot p$, multipliziert mit dem Gesamtausschlag $2\bar{\alpha}$):

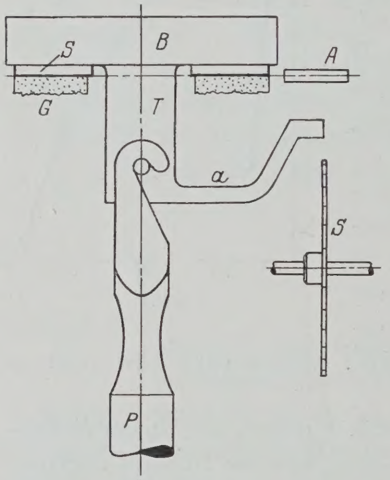
$$E = \frac{\pi^2 \cdot p \cdot \bar{\alpha}^2}{2T} = 3{,}9 \cdot 10^{-8} \text{ mkg}. \qquad 4)$$

Interessant ist der Vergleich mit dem für Shortt-Uhren mit Federaufhängung angegebenen Werte von $3 \cdot 10^{-8}$ mkg bei einem Vakuum von 30 mm Hg. — Da nach Abb. 2 der Widerstand in 650 mm Luftdruck zunächst etwa sechsmal so groß ist, so fielen unter der Annahme, daß das Riefler-Vakuum überhaupt keinen Widerstand leistet, auf die Schneiden der fünfte Teil obigen Wertes, nämlich

$$p_s \approx 0{,}2 \cdot 10^{-5} \text{ kg m s.} \qquad 5)$$

Von anderer Seite wird angegeben, daß der Widerstand des in Federn aufgehängten Pendels im Vakuum auf $^1/_8$ zurückginge.

Ein weiterer wesentlicher Punkt ist die Frage des Isochronismus. Bekannt ist, daß seine Verwirklichung bei Federaufhängung bis zu einem gewissen Grade möglich ist. Beim Betriebe auf Schneiden ist das nicht der Fall, weil der Drehpunkt hier zum mindesten fester liegt als bei der Feder. Nun beträgt die Tagesverzögerung, die bei einem Pendel von $l$ m Länge durch eine Schwungweitenzunahme um 1 mm hervorgerufen wird, bei einer Schwungweite von $s$ mm ungefähr $\frac{s}{93 \cdot l^2}$ s, und man könnte die durch den Anisochronismus bewirkte Störung durch starke Verkleinerung von $s$ beseitigen, wie das Schuler ja auch tut. Das hat aber bei mechanischem Antrieb seine Grenze, zumal bei einer Uhr, die gegen Störungen besonders unempfindlich sein soll und demnach eine leidlich große Schwungweite haben muß. Da bleibt also nichts weiter übrig, als den Antrieb so konstant wie möglich zu gestalten, damit Variationen der Amplitude hinreichend klein bleiben. Und das wird ja gerade durch den Schwerkraftantrieb angestrebt, obschon sich auch hier Anomalien zeigen, auf die wir noch zurückkommen werden. Riefler hat Versuche angestellt, wie groß der Einfluß der Amplitudenvariation bei der Schwerkraftuhr ist, und ist dabei auf Werte gestoßen, die als normal anzusehen sind. Nach der oben genannten, leicht verifizierbaren Formel müßte ein Wachstum der Amplitude um 1 Bogenminute bei einer Auslenkung von rund 90′ eine tägliche Gangänderung des Sekundenpendels von etwa 0,28 s/d verursachen; Riefler fand experimentell Werte, die zwischen 0,2 und 0,187 s/d lagen, und zwar wurden die Amplitudenänderungen durch gewisse Manipulationen an den Antriebshebeln erzwungen, auf die wir später eingehen werden. Bei Beobachtungen, die an der Rieflerschen Schwerkraftuhr der Norag angestellt worden sind, konnten im allgemeinen überhaupt keine Amplitudenänderungen festgestellt werden, wenigstens nicht im Laufe eines Monats; bei starken Temperaturänderungen wird die Sache vielleicht anders werden, denn Riefler gibt selbst eine Abhängigkeit der Amplitude von der Temperatur zu, was bei der Arbeitsweise des Mechanismus auch verständlich ist, weil die Triebhebel durch Temperaturzunahme ausgedehnt werden und dadurch ein größeres statisches Moment erhalten; wahrscheinlich spielt aber auch das Öl hierbei eine Rolle.



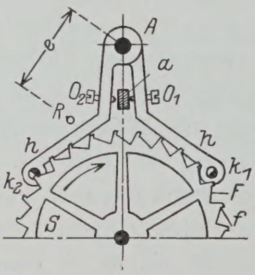


Abb. 3.

Und nun zur Hauptsache, zur Schwerkrafthemmung selbst. Abb. 3 zeigt sie in schematischer Form, wobei alle weniger wesentlichen Teile weggelassen sind; ein Ge-

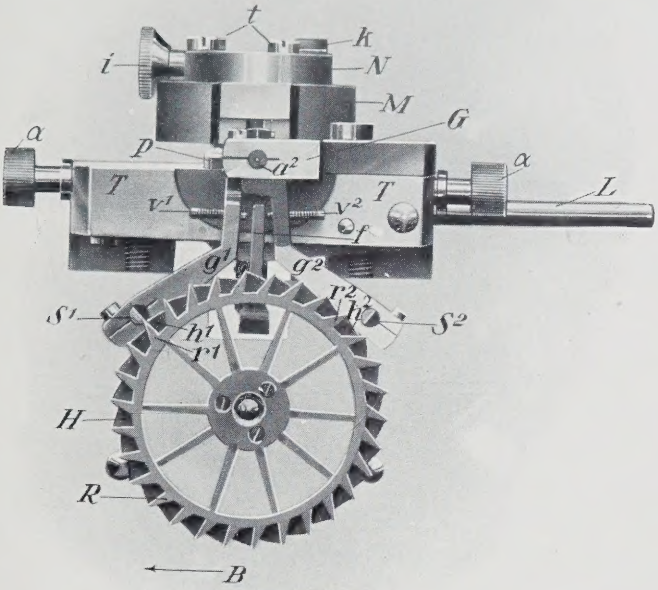



Abb. 4a. Vorderansicht des Schwerkraftganges.

*R* Ruherad,
*H* Hebungsrad,
*S* Klauen,
*g* Triebhebel,
*f* Führungsarm,
*v* seine Stützschrauben,
*B* Pendel,
*T* Tragkonsole,
*M* Tragbalken,
*P* Steine,
*C* Schneiden,
*N* Pendelträger,
*t* seine Stützschrauben,
*e* sein Arm,
*i* seine Stellschraube,
*a* Achse der Triebhebel,
*L* Hubhebel des Tragbalkens,
*l* seine Körner,
*α* Feststellschrauben des Balkens.

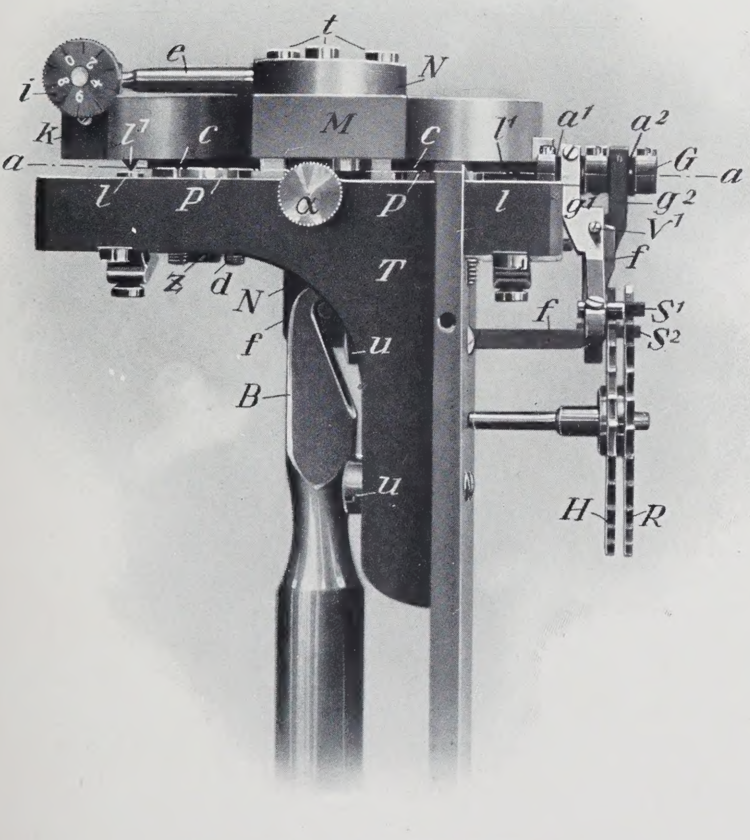



Abb. 4b. Seitenansicht des Schwerkraftganges.

samtbild geben die Abbildungen 4a und 4b, die der Rieflerschen Broschüre entnommen sind. Die Anordnung zeigt eine unverkennbare Ähnlichkeit mit dem alten Schwerkraftgang von Denison. Man sieht (Abb. 3) den mit Stahlschneiden $S$ auf zwei Steine $G$ gelagerten Tragbalken $B$, mit dem der aus Nickelstahl hergestellte „Pendelzapfen" $T$ fest verbunden ist. Über einen in ihn eingesetzten Stift ist das Pendel $P$ mit seinen beiden Haken in bekannter Weise gehängt. Es vermag also, sich um diesen Stift drehend, Bewegungen senkrecht zu seiner Schwungebene auszuführen, die aber durch die am Stift auftretende Reibung rasch gedämpft werden. Man erkennt, wie außerordentlich wichtig es ist, daß die durch die Schneidenkanten gehende, strichpunktierte Drehachse des Pendels genau wagerecht steht; widrigenfalls bekommt das Pendel die Neigung, in einer nicht ebenen Bahn zu schwingen und damit sein Trägheitsellipsoid zur Geltung zu bringen. Außerdem aber findet dann an dem Stift, über den es gehängt ist, starke Zapfenreibung statt. Der Pendelzapfen $T$ ist übrigens mit dem Balken $B$ in Wirklichkeit nicht aus einem Stück, sondern auf ihn mit drei stellbaren Stützschrauben gelagert, wie aus dem Konstruktionsbilde hervorgeht; außerdem ist $T$ mittels einer besonderen Schraube ($i$) in $B$ um die Pendelmittellinie drehbar, damit man den Abfall regulieren kann; das läßt sich bequem während des Ganges der Uhr ausführen. Die Antriebsstärke wird durch diese Manipulation nicht geändert, wie wir später sehen werden. Vermöge zweier nicht mitgezeichneter Pfannen läßt sich der Tragbalken durch eine Hebelumlegung ($L$) von den Steinlagern abheben und so bei Bedarf nach einer unfreiwilligen Verrückung in einfacher Weise in seine Normallage zurückführen; auch beim Transport findet diese Hebung neben anderen Feststell- und Sicherungsmaßnahmen statt.

Die Verbindung des schwingenden Reglers mit dem eigentlichen Hemmungsmechanismus geschieht durch einen Führungsarm $a$, der mit dem Pendelzapfen $T$ starr verbunden ist und daher dessen Bewegung mitmacht. Sein Ende greift zwischen die beiden Stellschrauben $O_1$ und $O_2$, die in den beiden je 4 g wiegenden Triebhebeln $h$ stecken. Im Seitenriß der Skizze ist das deutlich erkennbar. Die Hebel $h$ stecken drehbar auf einer Achse $A$, die mit der Schneidenachse zusammenfällt. An den Triebhebelenden sitzen die steinernen Klauen $k_1$ und $k_2$, die zylindrisch gestaltet, aber an ihren Enden zur Hälfte abgeflacht sind. In Wirklichkeit sind nämlich wie bei der bekannten Rieflerschen Federkrafthemmung zwei Gangräder vorhanden, deren eines als Hebungsrad dient und mit den runden Klauenteilen zusammenarbeitet, während das Ruherad mit seinen spitzen Zähnen in die halbkreisförmigen Klauenteile eingreift. Aus dem Konstruktionsbild ist das deutlich erkennbar. In der Skizze aber sind die beiden Räder zu einem einzigen Rade $S$ zusammengefaßt gedacht, wobei die Funktion ungeändert bleibt, während die in der Praxis erwünschte Verstellbarkeit der Ruhegegenüber den Hebungsflächen aufgehoben ist. Die Hebungsflächen sind mit $F$ und die Ruheflächen des Rades mit $f$ bezeichnet.

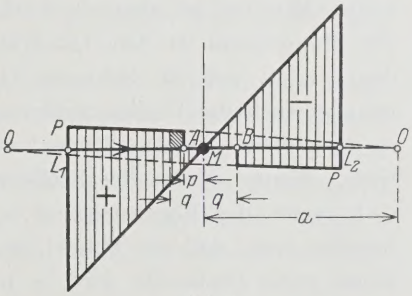


Abb. 5.

Das Spiel des Mechanismus bei einem Rechtsgange des Pendels möge mit Hilfe des Diagramms der Abb. 5 betrachtet werden. In ihm kennzeichnen die senkrechten Ordinaten das zurücktreibende Moment der Schwere über der Schwingungsbahn $L_1 L_2$ als Abszisse; die Kürze der Schwingungsbahn gestattet, die Linie mit guter Näherung als geradlinig anzusehen. Die beiden sinusförmigen Kurven $OP$ dagegen stellen den Einfluß der Triebhebel auf die Pendelbewegung vor. Hier war es nicht mehr zulässig,

gerade Linien einzuzeichnen, weil der Schwerpunkt $R$ eines Triebhebels (Abb. 3) scho in der Pendelmittellage erheblich aus der Mitte herausgedrängt ist und erst in de Punkten $OO$ der Bahn senkrecht unter die Pendelachse zu liegen käme. Die Vorgäng bei einem Rechtsgang des Pendels sind nun folgende: Der Aufbruch erfolgt im Punkt $L$ mit der Geschwindigkeit Null. Der Antrieb geschieht nicht bloß durch das Eigen gewicht, dessen Wirkung durch den unter der Abszisse $LL$ liegenden Ordinatentei dargestellt wird, sondern auch durch den linken Gewichtshebel, entsprechend der ober halb liegenden Ordinatenstrecke, die stark vergrößert gezeichnet ist. So geht es weite bis zum Bahnpunkt $A$, in welchem der linke Triebhebel mit seiner Klaue die Hebungs flanke des Gangrades erreicht und dadurch angehalten wird; auf der Bahnstrecke $AM$ schwingt das Pendel also ohne Hebelbelastung. Endlich wird im Punkt $B$ der recht Triebhebel erreicht und kommt damit zur Wirkung. Da er aber vorher in de Ruhestellung verharrte und somit durch die Hebungsflanke $F$ schon ein wenig angehoben war, so ist $B$ weiter von der Mitte $M$ abgelegen als $A$ $(q > p)$, und die mit $+$-Zeichen gekennzeichnete positive Arbeitsfläche ist um den schräg schraf fierten Teil größer als die negative. Diese schraffierte kleine Fläche repräsentiert als die Antriebsenergie je Halbschwingung. Ihre Größe ist näherungsweise angebbar. Sei $G$ das Triebhebelgewicht in Gramm und $e$ nach Abb. 3 der Schwerpunktsabstand von der Drehachse in mm, so beziffert sich die Antriebsenergie genähert auf

$$E = G \cdot e\,(q - p) \cdot \sin(a + p)\ \mathrm{g\,mm}, \qquad 6)$$

worin die Abszissen in Bogeneinheiten zu messen sind.

Wesentlich ist nun, festzustellen, ob beim Zustandekommen des Antriebes variable Verluste auftreten und ferner, wie sich die Antriebsstärke bei Bedarf ändern läßt, bzw. ob sie sich im Laufe der Zeit oder bei Temperaturschwankungen von selbst ändert.

Im Punkt $B$, wo die Mitwirkung des rechten Triebhebels plötzlich einsetzt, findet naturgemäß ein Stoß statt, der wohl ohne Bedenken als unelastisch angesehen werden kann. Mit ihm ist aber ein Verlust, ein Übergang von Energie in Wärme, verbunden, der proportional ist dem Quadrat der Geschwindigkeit, mit dem der Führungshebel $a$ des Pendels auf die Schraube $O_1$ des Triebhebels auftrifft. Bei größerer Amplitude ist also auch der Verlust größer, und obschon sein Wachstum relativ gering ist, dient es doch dazu, die Amplitude konstanter zu machen, als sie es ohne diesen Umstand wäre. Weiter wächst der Stoßverlust aber auch, wenn die Schrauben $O$ hineingedreht, d. h. wenn die Bogenstrecken $p$ und $q$ in Abb. 5 verkleinert werden. Andererseits beachte man, daß ein Pendel in bezug auf seine Schwingungsdauer desto unempfindlicher gegen Drehstöße wird, je näher sie der Bahnmitte liegen; somit ergibt sich aus dem Hineindrehen der Schrauben weniger eine Änderung der Schwingungsdauer an sich als eine solche der Amplitude. Ein zweiter Verlust wird durch die Auslösearbeit zustande gebracht, die vom Pendel geleistet werden muß, wenn es den Triebhebel nach dem Stoß über die Ruhefläche $f$ bis zum Beginn der Gangraddrehung hinwegführt; diesem Verlust wird in bekanter Weise dadurch nach Möglichkeit begegnet, daß die Ruhefläche der steinernen Klaue um etwa $12^0$ abgeschrägt wird. Bleibt er außerdem konstant, wie es bei dem von Riefler gewählten elektromagnetischen Antrieb des Gangrades weitgehend der Fall ist, so bedeutet er überhaupt keine Störung. Ein weiterer nicht unerheblicher Verlust wird in der Zapfenreibung der Triebhebel zu suchen sein. Zwar erfolgt der Anhub durch die Hebungsflächen des Rades nach erfolgter Auslösung vermöge der Triebkraft des Werkes, aber beim Absinken des auf den Führungsarm $a$ gestützten Hebels stemmt sich Zapfenreibung der Bewegung entgegen. Obschon diese

Reibung wegen der geringen Zapfenstärke (0,8 mm) klein ist, dürfte sie doch ein Grund dafür sein, weswegen die Amplitude bei steigender Temperatur und damit eintretender geringerer Ölviskosität zunimmt. Ein anderer Grund hierfür liegt offenbar in der Ausdehnung der Triebhebel durch die Wärme, deren 19 mm betragender Schwerpunktsabstand $e$ von der Achse wächst, wodurch das statische Moment der Hebel und damit der Antrieb steigt. Vielleicht wäre es daher besser, die Hebel statt aus Messing ebenfalls aus Nickelstahl herzustellen. Die Zapfenreibung der Triebhebel bewirkt auch eine nach etwa 3 Jahren einsetzende Gangverlangsamung, weshalb in diesem Zeitabstande jedesmal neu geölt werden sollte.

Eine Beeinflussung der Amplitude kann nach Gl. 6) auf verschiedene Weise geschehen. Einmal kann man durch Hineindrehen der Schrauben $O$ (Abb. 3) die Bogenstrecke $q$ verkleinern, wodurch zugleich $p$ um denselben Betrag geringer wird, weil der Unterschied zwischen $p$ und $q$ gleich dem Bogen ist, um den die Hebel durch die Hebungsflächen des Triebrades angehoben werden; damit ändert sich aber in Gl. 6) das Glied $a + p$, während $q - p$ ungeändert bleibt. Ferner kann man die Triebhebel durch eingesetzte Schräubchen beschweren, womit nicht bloß $G$ wächst, sondern sich auch der Schwerpunkt verlagert und damit unter Umständen die Bogenstrecke $a$ ändert.

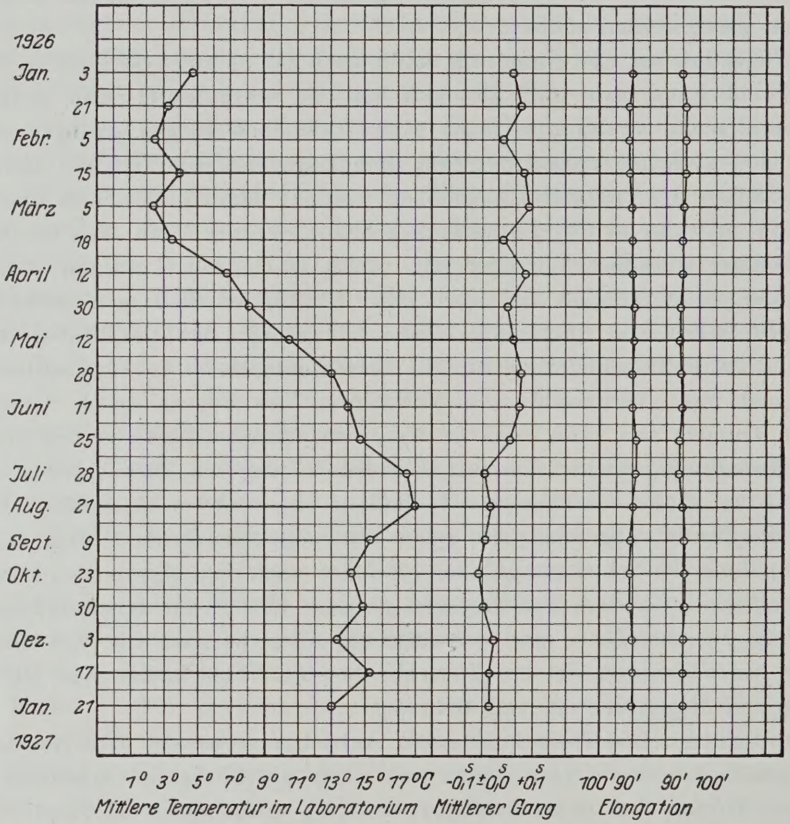
Versuche haben die interessante Tatsache gezeigt, daß die beiden Arten der Antriebs- und Amplitudenänderung auf die Schwingungsdauer in verschiedener Weise einwirken, und zwar verursachte ein Verkleinern des Bogens durch Schraubenverstellung ein Voreilen um etwa $^1/_5$ s je Tag, eine gleiche Verkleinerung durch Abnahme der Belastungsgewichte von den Triebhebeln aber ein Zurückbleiben um etwa $^1/_{25}$ s. Der Grund dieses verschiedenen Verhaltens ist unschwer einzusehen: Im ersten Falle blieb das Pendel, abgesehen von seiner Schwungweitenverminderung, ungeändert, und eine Abnahme der Schwingungsdauer erscheint nach dem allgemeinen Pendelgesetz selbstverständlich; im andern Fall dagegen geschah eine Gewichtsverminderung oberhalb der Mitte zwischen Dreh- und Schwingungspunkt, die nach der von den Zulagegewichtchen her bekannten Art ein Zurückbleiben zur Folge haben muß, die offenbar die Wirkung der Bogenverkleinerung überwog.

Zur weiteren Sicherstellung konstanten Antriebes verwendet Riefler, wie schon angedeutet, auch bei dieser Uhr seinen seit mehr als 25 Jahren erprobten elektromagnetischen Antrieb, bei dem vermöge eines 10 g wiegenden und rund jede halbe Minute durch einen Elektromagneten angehobenen Belastungshebels das Zwischenrad angetrieben wird, das mit einer Übersetzung von 7,5 in das Gangradtrieb eingreift. Der Stromverbrauch beläuft sich auf 25 mA und kann durch Trockenelemente bestritten werden.

Natürlich trägt das Pendel außer der Temperaturkompensation in $^1/_4$ seiner Länge unterhalb der Drehachse auch die bekannte Rieflersche Luftdichte-Ausgleichvorrichtung mit belasteten Aneroiden. Wie fein diese eingestellt ist, konnte festgestellt werden, als die Aneroide infolge eines Versehens um ein ganz geringes Stück zu hoch angesetzt waren; sofort zeigte sich starke Überkompensation gegenüber Luftdichteschwankungen. Da nicht beabsichtigt wurde, mit dieser Hemmungskonstruktion in Konkurrenz mit der Federkrafthemmung zu treten, so hat man auf Schichtungskompensation Verzicht geleistet und sich mit einem Nickelstahlpendel „zweiter Sorte" begnügt, bei dem aber der Temperaturfehler immer noch kleiner als $^1/_{50}$ s je Grad und Tag ist. Natürlich besitzt das Pendel eine wagerechte Fläche zum Auflegen von Beschleunigungs-Gewichtchen, die in der Größe von 560, 280 und 56 mg geliefert werden. Außerdem aber trägt ein 497 mm unterhalb der Drehachse befindlicher Teller

die beiden Einstellgewichte, deren eines, an einem losen Faden befestigt, stets aufsteht, während das andere, rollenförmig gestaltete behufs Beschleunigung durch Herablassen eines Tragfadens aufgesetzt werden kann; beide Gewichte werden durch Betätigung besonderer Hebel von Hand aufgelegt bzw. abgehoben. Ihre Wirkung beträgt bei einem Gewicht von rund 2 g je Tag 4,8 s.

Selbstverständlich kann die Schwerkraftuhr auch mit Gangradkontakt ausgerüstet und damit zur Synchronisierung von anderen Uhren benutzt werden, deren Anzahl




Mittlerer Gang vom 3. Januar 1926–21. Januar 1927

Abb. 6.

unbedenklich auf 8 erhöht werden kann, wofern nur bei 4 V Batteriespannung die nötigen 8 bis 10 mA zustande kommen.

Einige weitere Konstruktionsdaten sind folgende: Durchmesser des Gangrades 40 mm; Abstand von Achse bis Klauenmittelpunkt 28,5 mm; die Klaue wird bei der Hebung um etwa 0,5 mm gehoben; Schwerpunktsabstand der Triebhebel von der Achse 19 mm.

Die Leistungen der Schwerkraftuhr ergeben sich aus einer von Riefler selbst über ein ganzes Jahr hinweg angestellten Beobachtungsreihe, die in Abb. 6 graphisch zur Darstellung gebracht ist. Außerdem ist untenstehend eine Korrekturtabelle über zwei Wochen angegeben, die an einer Uhr aufgenommen ist, die unter den denkbar ungünstigsten Umständen arbeiten mußte. Die Hammerschläge eines Umbaus brachten das Mauerwerk von früh bis spät in heftige Erschütterungen, so daß man das Beben der Wand, an der die Uhr hing, jederzeit deutlich fühlen konnte; außerdem war der Raum so feucht, daß sich Pilzbildungen am Aneroid der Luftdichte-Kompen-

sation zu zeigen begannen. Eine härtere Prüfung für eine Uhr, die möglichst unempfindlich sein soll, ist kaum denkbar; der Federkraftgang hätte sie wohl nicht überstanden.

| Luftdruck | | | Temperatur | | Amplitude | Auflage $13^{00} \div 13^{00}$ h | Korrektur in Hundertstel Sek. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $8^{00}$ | $14^{00}$ | $20^{00}$ | Min. | Max. | | | |
| 756,0 | 755,4 | 756,3 | 14° | 15° | 93′ | 2 | — 51 |
| 760 | 760,6 | 760,1 | 14° | 16° | 93′ | 2 | — 45 |
| 756,2 | 754,4 | 756,8 | 14,5° | 15,5° | 93′ | 3 | — 41 |
| 758,8 | 757,2 | 756,2 | 15° | 15,5° | 93′ | 3 | — 50 |
| 761,9 | 762,9 | 762,5 | 15° | 15,5° | 93′ | 3 | — 52 |
| 760,2 | 758,2 | 757,0 | 15° | 15,5° | 93′ | 2 | — 49 |
| 755,4 | 755,9 | 756,9 | 15,5° | 16,5° | 93′ | 3 | — 48 |
| 758,7 | 760,3 | 761,9 | 15,5° | 16,5° | 93′ | 2 | — 50 |
| 764,3 | 766,1 | 767,5 | 15° | 16° | 93′ | 2 | — 38 |
| 768,8 | 769,5 | 769,2 | 14,5° | 15,5° | 93′ | 2 | — 37 |
| 770,3 | 770,3 | 769,2 | 14,5° | 15,5° | 93′ | 1 [1] | — 28 |
| 768,0 | 767,1 | 766,1 | 15° | 16° | 93′ | 2 | — 38 |
| 769,4 | 769,4 | 769,4 | 16° | 16,5° | 93′ | 3 | — 57 |
| 771,3 | 771,2 | 770,9 | 16° | 16,5° | 93′ | 3 | — 63 |
| 769,9 | 769,3 | 768,9 | 16° | 17° | 93′ | | — 70 |

Die Tabelle ist ohne weiteres verständlich. Die Einzelbeobachtungen liegen genau einen Tag auseinander, und die Auflagegewichte bewirkten je Stück ein tägliches Voreilen von 0,089 s. Die Standermittlung geschah chronographisch unter Berücksichtigung der elektrischen und mechanischen Verzögerungen durch Vergleich mit dem Nauener Zeitzeichen, und die angegebenen Zahlen enthalten schon die nachträglich von Nauen veröffentlichten Korrekturen. Daher rühren einige Besonderheiten in der Handhabung der Zulagegewichte. Die Uhr mußte stets um mindestens 0,3 s vor der wahren Zeit gehalten werden, weil die synchronisierte Nebenuhr, die das Norag-Zeitzeichen gibt, etwa um diesen Betrag hinter der Riefleruhr nachhinkt. — Selbstverständlich werden sich die Gangergebnisse nach Fertigstellung der Neubauarbeiten noch wesentlich verbessern.

Unter den obwaltenden Umständen lohnte es sich natürlich nicht, die über eine längere Periode festgestellten Gänge rechnerisch vom Einfluß von Temperatur, Luftdichte und Beschleunigungsgewichten zu reinigen, und weiterhin eine mittlere tägliche Gangänderung $\delta$ zu ermitteln, die allein als zuverlässiger Maßstab für die Leistungen einer Präzisions-Pendeluhr angesehen werden kann. Nach Wanach *(Astron. Nachr.* ***190*** *S. 169—190)* hätte das nach der Formel

$$\delta = \sqrt{\frac{3\,T}{1+2\,T^2}\left[\frac{\Sigma(\Delta g)^2}{n} - \frac{6\,\mu^2}{T^2}\right]} \tag{7}$$

zu geschehen, worin $\Delta g$ der einzelne mittlere Tagesgang, $n$ ihre Anzahl, $\mu$ der mittlere Fehler einer Zeitbestimmung und $T$ das mittlere Zeitbestimmungsintervall ist; dieses soll dabei möglichst konstant sein.

Die vorstehenden Ausführungen dürften gezeigt haben, daß die Schwerkraftuhr ein Instrument ist, das unter gegebenen Umständen seine Aufgabe voll zu erfüllen vermag.

---

[1] An diesem Tage wurde die Uhr durch das Auflagegewicht in $1^1/_2$ Stunden um $\frac{1,5}{24}\cdot 4,8 = 0,3$ s vorgestellt.

# Bücherbesprechungen.

**M. von Rohr**, Joseph Fraunhofers Leben, Leistungen und Wirksamkeit. 15 × 33 cm. XX, 233 S. mit 1 Titelbild, 39 Abb., 1 Tafel. Leipzig. Akademische Verlagsges. 1929. Geb. 15. — RM.

Wie man aus dem letzten Kapitel des Buches sieht, ist Leben und Wirken Fraunhofers vielfach in Aufsätzen und Gedenkreden behandelt worden. Es seien nur die Gedenkrede Abbes und die Jubiläumsschrift Voits hervorgehoben, deren Anlaß die hundertste Wiederkehr des Geburtstags war. Auch das 1926 erschienene Büchlein des kürzlich verstorbenen Generalarztes Seitz hat durch eine Reihe von Schriftstücken, Briefen, Preislisten und Schilderungen wertvolle Beiträge geliefert. Der Aufgabe, den zerstreuten Stoff vollständig zu sammeln, ihn kritisch zu sichten und trotz der vielen Lücken unserer Kenntnis doch durch geschicktes Zusammenfassen der Bruchstücke ein klares Bild zu entwerfen, sowohl wie Fraunhofer selbst ein solcher Meister auf technischem und wissenschaftlichem Gebiete wurde, als auch wie die von ihm geleiteten Betriebe sich zu ihrer Höhe entwickelt haben, war jedoch erst der Verfasser gewachsen, der hierfür durch seine große Erfahrung in historischen Darstellungen und seine Kenntnis der Feinoptik und -mechanik aus eigener Berufstätigkeit besonder befähigt war. Für dieses Buch hatte er zudem wichtige Vorarbeit bereits geleistet; seit seinem Werke über Theorie und Geschichte des photographischen Objektivs hatte er immerfort das Werden der Kunst, optisches Glas zu schmelzen, verfolgt, zur hundertsten Wiederkehr des Todestages von Fraunhofer hatte er weiter dessen Andenken ein Sonderheft der Naturwissenschaften gewidmet; während der Arbeit an dem vorliegenden Werk hat er dann neue Beiträge zur Geschichte Fraunhofers in der von ihm kürzlich begründeten Beilage zn dieser Zeitschrift, den „Forschungen zur Geschichte der Optik“, herausgegeben.

Das erste Kapitel behandelt Fraunhofers äußere Lebensumstände. Dank den Bemühungen des Oberlehrers Kübert in München vermag uns der Verfasser über die damaligen Schulverhältnisse zu unterrichten, insbesondere auch über den Lehrplan der Münchener Feiertagsschule, die Fraunhofer nur 4 von den 6 Jahren des Schulplans als Zieratenglasschleiferlehrling bis zum Alter von 18 Jahren besuchen konnte, so daß er dort nur Elementarunterricht genoß. Trotzdem hat er es durch Selbstunterricht soweit gebracht, wohl besonders an Hand des Klügelschen Lehrbuchs, das er schon mit 19 Jahren bei seinem Eintritt in das optische Institut Utzschneiders mit der Berechnung von Fernrohrobjektiven beschäftigt wurde. Für die Verbesserung der Einrichtungen der optischen Werkstätte hat er sicherlich von Reichenbach gelernt. Wir sehen ihn rach zunächst zum Optikermeister, dann zum Betriebsleiter und Teilhaber des ganzen Werks steigen, wie er aber trotz der äußeren Erfolge und der Anerkennung, die auch seine wissenschaftlichen Leistungen fanden, am Ende seines Lebens geneigt war, die praktische Optik aufzugeben, eine Konservatorstellung annahm und mit dem Bayerischen Staat wegen der Übernahme des Optischen Instituts verhandelte. Der Verfasser weiß uns diese ganze Entwicklung verständlich zu machen und seinen Helden uns menschlich nahezubringen.

Das zweite Kapitel behandelt zuächst Fraunhofer als technischen Optiker. Ausgehend von dem Stande der Kunst des Linsenschleifens wird uns an der Hand von guten Abbildungen die Verbesserung der Hilfsmittel des optischen Betriebs, die zum Teil noch auf Reichenbach zurückgehen, klargelegt. Es werden dann, durch Darstellung des Korrektionszustandes unterstützt, die neuen Objektive und Okulare Fraunhofers behandelt. Weiter folgt, wie Fraunhofer als Schüler Guinands, aber bald über ihn hinauswachsend, die Kunst, optisches Glas zu schmelzen, besonders auch Dank der wissenschaftlichen Gründlichkeit seiner Versuche, rasch auf eine wunderbare Höhe brachte. Leider gelang es nicht, Guinand in Benediktbeurn zu halten, so daß die Kunst von dessen Söhnen nach Frankreich und mittelbar nach England verpflanzt wurde, wo man die Gunst der Zeit für größeren Absatz infolge der Einführung der holländischen Doppelfernrohre und der photographischen Objektive besser auszunutzen wußte, als dies Fraunhofers Nachfolger vermochten, die leider an ihrer Weigerung festhielten, Rohglas an fremde Anstalten zu liefern. Von besonderem Interesse ist der hier abgedruckte Bericht über das Schmelzen des Kronglases, den Fraunhofer auf dem Totenbette einem Freunde in die Feder diktierte. An der Hand von Preislisten wird ferner gezeigt, wie die Leistung der Hütte in der Lieferung von großen Fernrohrscheiben stieg; zuletzt konnte Fraunhofer die Lieferung der Scheiben für ein Objektiv

von 49 cm Durchmesser anbieten. Auf mechanischem Gebiet ist Fraunhofer namentlich durch seine Mikrometer und durch seine parallaktische Aufstellung mit vorzüglichem Uhrwerksantrieb berühmt; auch die Schwierigkeiten der Herstellung seiner feinen Beugungsgitter, von denen Mikrophotographien beigegeben sind, wußte er zu überwinden.

Die im dritten Kapitel ausführlich behandelte wissenschaftliche Arbeit Fraunhofers nahm ihren Ausgang von dem dringenden Bedürfnis der Glasschmelzerei wie der Optik, die Brechzahlen für bestimmte sehr enge Farbenbezirke mit der größten Genauigkeit zu ermitteln. Nachdem er diese Aufgabe, an der man sich im 18. Jahrhundert vergebens versucht hatte, zunächst mit seinem Sechs-Lampen-Gerät gelöst hatte, fand er später in den nach ihm genannten Linien ein bequemeres Hilfsmittel. Die Frage nach der richtigen Farbenkorrektion führte ihn dann auch dazu, als erster die Helligkeit der verschiedenen Farben genauer messend zu vergleichen. Er untersuchte auch neben dem Spektrum des Sonnenlichts das des Mondes, der Planeten und verschiedener Fixsterne. Die Untersuchungen über die Beugung an Gittern ließen ihn die Wellenlängen mit einer Genauigkeit feststellen, die erst nach 40 Jahren von späteren Forschern übertroffen wurden. Er wandte auch die Beugung auf die Erklärung der Kranzerscheinungen beim Durchgang des Lichtes durch fein verteilte Wassertröpfchen an. Der Inhalt der Vorlesungen, die er als Mitglied der Akademie zu halten hatte, wird kurz angegeben. Wir erfahren, wie er seine reichen Einnahmen im Dienste technischer und wissenschaftlicher Versuche verbraucht hat und bewundern, wie er neben seiner Berufstätigkeit noch Zeit für seine wissenschaftlichen Arbeiten fand.

Das vierte Kapitel, über das Optische Institut in Benediktbeurn und München vom Geschäftsstandpunkte betrachtet, zeugt besonders von der gründlichen historischen Arbeit des Verfassers und seiner Kunst, verwickelte Zusammenhänge klarzulegen. Aus dem Betrieb der Glashütte sei erwähnt, daß Fraunhofer seit 1820 regelmäßig den großen Schmelzen kleine Probehäfen beisetzte, mit denen er trotz der kleinen Menge von $2^1/_4$ kg so gute Glasstücke erhielt, daß er die Linien B bis H durchmessen konnte. Es wird dann weiter auf den mechanichen und optischen Betrieb eingegegangen, und besonders auf das Ausscheiden von Reichenbach und später von Liebherr. Zuerst wurden auch Brillen und holländische Fernrohre hergestellt; eine Brille mit dem Zeichen U & R und ebenso ein Handröhrchen im Vergleich mit einem Dollondschen werden abgebildet. Ihre Erzeugung legte Fraunhofer jedoch bald still und dafür das Hauptgewicht auf die astronomischen und terrestrischen Fernrohre und ihre Objektive; daneben wurden auch achromatische Mikroskope, allerdings nur bis zu 150 facher Vergrößerung, gebaut. Über die Entwicklung geben namentlich die von dem Verfasser zusammengestellten Preislisten Aufschluß. Von der Sorgfalt des Verfassers zeugen auch die Zeittafeln am Schlusse des ersten und vierten Kapitels, das Quellenverzeichnis mit 77 Nummern und der Namenweiser; bei diesem folgen den Namen nicht nur die Seitenzahlen, sondern auch kurze Angaben, um was es sich dort handelt.

Wir schließen mit den Worten des Verfassers: „Wir aber, deren Wandel daran gebunden ist, was er an gültigen Sätzen gefunden, wir wollen es aussprechen, daß sich bei aller Bewunderung für sein Werk, unser Herz dem Meister des Werks noch mehr öffnet; wie ihm der Genuß nichts war, und die Erfüllung seiner Pflicht alles, wie er seinen kümmerlichen Körper überlastete, um die Forschungen zu vollenden, denen er sich allein gewachsen wußte, wie er, ob auch gekränkt und enttäuscht, dem aus dem Nichts geschaffenen Unternehmen in schweigender Treue diente".

*A. König.*

**F. Kögler,** Taschenbuch für Berg- und Hüttenleute. 2. Aufl. 8⁰. XVI, 1207 S. m. 630 Abb. Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin 1929. Geb. 33,50 RM.

Kaum fünf Jahre nach dem Erscheinen der ersten Auflage dieses Taschenbuches stellte sich bereits das Bedürfnis nach einer zweiten Auflage ein, die nunmehr in dem Verlage von Wilhelm Ernst & Sohn erschienen ist. — Es ist dies wohl der beste Beweis für die Brauchbarkeit dieses Taschenbuches, das insbesondere den Bedürfnissen der Berg-, Hütten- und Markscheider-Ingenieure angepaßt wurde. Da es dem Herausgeber Prof. Dr. Kögler gelungen ist, eine Reihe von Mitarbeitern zu gewinnen, die in den bezüglichen Materien ganz besondere Erfahrungen besitzen, so ist es möglich gewesen, in den einzelnen Kapiteln den neuesten Stand der Wissenschaft zu berücksichtigen. —

Die Abschnitte über Bergbaukunde bringen beispielsweise die neuesten technischen Fortschritte der Abbauförderung und modernen Versatztechnik. Die Kapitel, welche sich mit der Aufbereitung befassen, sind vollkommen umgearbeitet und dem modernen Stande dieser Wissenschaft angepaßt. So wurden unter anderem die Rheowäschen ziemlich ausführlich gebracht und unter den trockenen Sortierungsverfahren insbesondere die Luftherde berücksichtigt. —

Die Markscheider-Ingenieure finden die sie interessierenden Fragen in dem von Prof. Dr. Wandhoff verfaßten Abschnitte über Markscheidekunde in knapper Form behandelt. Neben den üblichen geodätischen Grundlagen, die auch die Tachymetrie und barometrische Höhenmessung umfassen, findet man in diesem Abschnitte auch die rein markscheiderischen Kompaß- und Orientierungsmessungen sowie die Schachtanschlußmessungen eingehend erörtert. Sogar der Kreiselkompaß, dieses modernste aller Orientierungsinstrumente, wird an geeignetem Orte berücksichtigt.

Auch der Anhang über die Ausrichtung von Verwerfungen von Dr. Schmidt ist bemerkenswert. Was die Hüttenkunde betrifft, muß betont werden, daß alle wichtigeren Neuerungen auf dem Gebiete der Erzeugung von feuerfesten Materialien aufgenommen wurden, und auch die Agglomerierverfahren kurz, aber gut behandelt sind. —

Zusammenfassend kann man wohl behaupten, daß die vorliegende Neuauflage von Köglers Taschenbuch für Berg- und Hüttenleute den Bedürfnissen der Interessenten in weitestem Maße entgegenkommt, so daß sich der Kreis der zahlreichen Freunde dieses Taschenbuches noch bedeutend erweitern dürfte. *V. Th.*

---

## Einführung des Begriffes „Halbschwingung" bei Zeitmessern.

Auf der Mitgliederversammlung der Gesellschaft für Zeitmeßkunde und Uhrentechnik E. V. am 12. Januar 1929 in Berlin wurde vorgeschlagen, den Begriff der Halbschwingung für Gangregler von Uhren offiziell einzuführen und als maßgebend zu betrachten. Dieser Vorschlag bezweckt die Beseitigung des störenden Gegensatzes, in dem sich bezüglich der Bezeichnungsweise die Uhrentechnik gegenüber allen anderen Zweigen der Technik und gegenüber der Wissenschaft bisher befindet, denn in der Uhrmacherei wird bislang derjenige Vorgang, den man sonst überall „Halbschwingung" nennt, als „Schwingung" bezeichnet. Die Mitgliederversammlung stimmte dem Vorschlage grundsätzlich einstimmig zu; jedoch wurde die offizielle Einführung des Begriffs der Halbschwingung von der Veröffentlichung des Beschlusses in der Fachpresse und von der Bearbeitung von etwa eingehenden Einsprüchen durch den wissenschaftlichen Ausschuß der Gesellschaft abhängig gemacht. Inzwischen ist nun die Angelegenheit in dem genannten Ausschuß behandelt und von anderer Seite auch bereits in einem Teil der Fachpresse erörtert worden. Der wissenschaftliche Ausschuß hat bisher dem Beschluß der Mitgliederversammlung nichts hinzuzufügen. Dieser Beschluß der Mitgliederversammlung wird deshalb hiermit zur allgemeinen Kenntnis gebracht. Äußerungen zu der Angelegenheit und etwaige Einsprüche mit Begründung werden bis zum 31. März 1930 an den Obmann des wissenschaftlichen Ausschusses, Prof. Dr. Mahnkopf, Potsdam, Geodätisches Institut, erbeten. Erläuternd möge noch bemerkt werden, daß nicht eine Änderung des bisherigen Begriffes „Sekundenpendel" usw. beabsichtigt wird, sondern lediglich die Änderung des bisherigen Begriffes „Schwingung" in „Halbschwingung". Man würde dann also in Zukunft z. B. sagen, daß ein Sekundenpendel in der Sekunde eine Halbschwingung ausführt.

Gesellschaft für Zeitmeßkunde und Uhrentechnik E. V.

---

## Zum 70 Geburtstag von Dr. W. Heraeus.

Am 9. Januar d. J. begeht Dr. W. Heraeus, der Senior-Chef der Platinschmelze W. C. Heraeus G. m. b. H. in Hanau seinen 70. Geburtstag.

Wissenschaft und Technik werden an diesem Tage in ihren Glückwünschen dankbar der großen Verdienste gedenken, die sich Dr. Heraeus insbesondere auf dem Gebiete der Technologie und Anwendung des Platins und der Platinmetalle erworben hat. Schriftleitung.

Nachdruck verboten.

Verantwortlich für die Redaktion: Oberregierungsrat Professor Dr. F. Göpel in Charlottenburg.
Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

# Zeitschrift für Instrumentenkunde.

*Kuratorium:*

Prof. Dr. E. Kohlschütter in Potsdam, Vorsitzender, Prof. Dr. R. Straubel in Jena,
Prof. Dr. F. Weidert in Berlin-Zehlendorf, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat Prof. Dr. F. Göpel in Charlottenburg-Berlin.

50. Jahrgang. **Februar 1930.** Zweites Heft.

## Vakuummantelflaschen aus Metall für flüssigen Wasserstoff.

Von

**W. Meißner** und **B. Voigt** in Charlottenburg.

(Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.)

Für die Aufbewahrung von flüssigem Wasserstoff wurden in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt etwa seit 1921 metallene Vakuummantelflaschen von 5 l Inhalt verwendet, die von der Sprengluftgesellschaft, Berlin, bezogen waren. Als den gesteigerten Ansprüchen entsprechend 1926 zwei 10 l-Flaschen der Sprengluft-Gesellschaft beschafft wurden, zeigte es sich, daß diese — von der Firma waren sie nur für flüssige Luft bestimmt — für flüssigen Wasserstoff nicht brauchbar waren: zum Abkühlen derselben war mehr als 1 l flüssiger Wasserstoff erforderlich, und auch nach dem Abkühlen verdampfte in ihnen der flüssige Wasserstoff so schnell, daß die Verwendung der Flaschen für flüssigen Wasserstoff unmöglich war. Eine nähere Untersuchung zeigte, daß Abhilfe einerseits durch Verbesserung der zur Herstellung des Vakuums im Mantelraum dienenden Adsorptionskohle, andererseits durch Herabsetzung der Strahlungsverluste möglich war. Diese waren groß, weil das innere Gefäß aus Neusilber, der äußere Mantel aus Eisen bestand. Daß dieser Umstand ungünstig ist, ergibt sich qualitativ sofort aus der Überlegung, daß das Reflexionsvermögen für die in Betracht kommenden langwelligen Wärmestrahlen wesentlich durch die elektrische Leitfähigkeit des Materials gegeben ist. Quantitativen Aufschluß über die obwaltenden Verhältnisse geben die im folgenden angestellten Rechnungen. Sie werden durch die im dritten Teil wiedergegebenen Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen über Gefäße mit versilberten Innenflächen gut bestätigt.

### I. Theoretischer Teil.

1. Die Bestimmung der durch Wärmestrahlung übertragenen Energiemenge zwischen zwei konzentrischen Hohlkugeln aus verschiedenem Material, wie sie bei der Vakuummantelflasche angenähert vorhanden sind, gestaltet sich verwickelt, weswegen wir der Betrachtung statt der Kugeln zwei parallele, in konstantem Abstande befindliche, nach allen Seiten ins Unendliche reichende Platten zugrunde legen, die eine gewisse elektrische und thermische Leitfähigkeit besitzen mögen. Bezüglich der optischen Eigenschaften der Platten sei vorausgesetzt, daß man sich nicht im Gebiet anomaler Dispersion befinde, daß vielmehr die Maxwellsche Theorie anwendbar sei. Ferner sei die Oberfläche der Metalle so beschaffen, daß die elektromagnetischen Wellen der Wärmestrahlung geometrisch reflektiert werden.

Von einem Punkt der Oberfläche der einen Platte werde unter dem Winkel $\vartheta$ gegen die Plattennormale ein Strahlenbündel von der Intensität $E$ und der Wellen-

länge $\lambda$ emittiert. Zur Vereinfachung soll angenommen werden, daß die von einer Platte emittierte Strahlung nur eine Wellenlänge besitze — und zwar diejenige, der für schwarze Strahlung bei der Temperatur der Platte das Maximum der Strahlungsintensität entspricht. So emittiere Platte I bei der Temperatur $T'$ (Zimmertemperatur) eine Strahlung mit der Wellenlänge $\lambda'$, Platte II bei der Temperatur $T''$ (Temperatur der flüssigen Luft oder des flüssigen Wasserstoffs) eine Strahlung mit der Wellenlänge $\lambda''$.

Hätte man schwarze Strahlung, so läge, wenn $\tau$ die Schwingungsdauer bedeutet, das Maximum der emittierten Energie für Zimmertemperatur ($T = 290^0$) bei $\tau = 3{,}31 \cdot 10^{-14}$ ($\lambda = 9{,}93\,\mu$), für die Temperatur der flüssigen Luft ($T = 81{,}4^0$) bei $\tau = 11{,}8 \cdot 10^{-14}$ ($\lambda = 35{,}4\,\mu$) und für die Temperatur des flüssigen Wasserstoffs ($T = 20{,}4^0$) bei $\tau = 47{,}1 \cdot 10^{-14}$ ($\lambda = 141\,\mu$).

Aus dem Planckschen Strahlungsgesetz folgt, daß sich bei schwarzer Strahlung der Bereich, in dem die Energie von ihrem Maximalwert in Richtung nach ab- und zunehmenden Wellenlängen z. B. auf den zehnten Teil sinkt, für $T = 290^0$ von ca. 5 $\mu$ bis ca. 33 $\mu$, für $T = 81^0$ von ca. 18 $\mu$ bis ca. 85 $\mu$ und für $T = 20^0$ von ca. 63 $\mu$ bis ca. 450 $\mu$ erstreckt. Auf den ersten Blick könnte also die Annahme monochromatischer Strahlung für jede Temperatur bedenklich erscheinen. Beachtet man jedoch, daß für schwarze Strahlung die bei $T = 81^0$ bzw. $T = 20^0$ ausgestrahlten Energien größenordnungsmäßig den tausendsten bzw. millionsten Teil des bei $T = 290^0$ emittierten Betrages ausmachen und daher die in der inneren Kugel absorbierte Energie wesentlich durch die von der äußeren Kugel ausgestrahlte bedingt ist, so sieht man, daß man höchstens den Wellenlängenbereich bei Zimmertemperatur zu berücksichtigen braucht, wo die Breite des in Betracht kommenden Spektralgebietes schon nicht mehr sehr groß ist. Wir legen auch bei Zimmertemperatur monochromatische Strahlung zugrunde, da unsere für zwei parallele Platten angestellte Untersuchung sowieso nicht dem wirklichen Falle vollständig entspricht.

Die emittierte Strahlung $E$ wird zwischen den beiden Platten hin- und hergeworfen, wobei sie teilweise absorbiert wird. Die von den Platten absorbierten Wärmemengen lassen sich nach der Maxwellschen Theorie aus den Leitfähigkeiten berechnen, falls $E$ bekannt ist.

Um $E$ selbst zu berechnen, kann man folgendermaßen vorgehen: Hätte man thermodynamisches Gleichgewicht, also schwarze Strahlung im Vakuummantel, so wäre, wenn man ein monochromatisches geradlinig polarisiertes Strahlenbündel ins Auge faßt, nach dem Kirchhoffschen Satze für die Oberflächen- und Zeiteinheit in einer beliebigen Richtung $\vartheta$ gegen die Flächennormale innerhalb des räumlichen Winkels $d\Omega = \sin\vartheta\, d\vartheta\, d\varphi \left(\varphi = \text{Azimut},\ 0 \leqq \vartheta \leqq \frac{\pi}{2};\ 0 \leqq \varphi \leqq 2\pi\right)$

$$\frac{E_{||}}{A_{||}} = I_{||} = \cos\vartheta\, d\Omega\, K_{||},$$

$$\frac{E_{\perp}}{A_{\perp}} = I_{\perp} = \cos\vartheta\, d\Omega\, K_{\perp},$$

$$\frac{E_{||}}{A_{||}} = \frac{E_{\perp}}{A_{\perp}} = \frac{1}{2}\cos\vartheta\, d\Omega\, K, \qquad K_{||} = K_{\perp} = \frac{1}{2} K. \qquad 1)$$

Hierbei ist die parallel bzw. senkrecht zur Einfallsebene polarisierte[1] Komponente der

[1] Als Bezugsebene werde die Polarisationsebene genommen, also die Ebene senkrecht zur Schwingungsebene des elektrischen Vektors.

Strahlung mit dem Index $_{||}$ bzw. $_{\perp}$ versehen; $K$ bedeutet die spezifische Strahlungsintensität der schwarzen Strahlung, $A_{||}$ und $A_{\perp}$ sind die Absorptionsvermögen. Es ist zu beachten, daß die in dem räumlichen Winkel $d\Omega$ enthaltene Strahlung $I_{||} + I_{\perp}$ sich aus emittierter und reflektierter Strahlung zusammensetzt.

Nach dem Stefan-Boltzmannschen Gesetz ist für die im Vakuummantel zunächst vorausgesetzte schwarze Strahlung die von der Flächeneinheit aus in der Zeiteinheit in den räumlichen Winkel $2\pi$ eintretende Energie

$$\pi K = \sigma T^4,$$

wo $\sigma$ die Stefan-Boltzmannsche Konstante und $T$ die absolute Temperatur bedeutet.

Mithin folgt

$$\frac{E_{||}}{A_{||}} = \frac{E_{\perp}}{A_{\perp}} = \cos\vartheta\, d\Omega \frac{\sigma T^4}{2\pi}, \qquad 2\text{a)}$$

$$E_{||} + E_{\perp} = E = \cos\vartheta\, d\Omega \frac{\sigma T^4}{2\pi}(A_{||} + A_{\perp}). \qquad 2\text{b)}$$

Da $E$ eine Materialeigenschaft der an das Vakuum grenzenden Platte ist, muß diese Gleichung auch für den bei der vorliegenden Aufgabe herrschenden stationären Zustand gelten, obwohl er nicht dem thermodynamischen Gleichgewicht entspricht.

Die auf die beiden Platten I und II bezüglichen Größen mögen durch einen bzw. zwei Indexstriche gekennzeichnet werden.

Platte I mit der Leitfähigkeit $\varkappa'$ habe die Temperatur $T' = 290^0$ abs. und emittiere unter dem Winkel $\vartheta$ gegen die Normale Strahlung der Schwingungsdauer $\tau'$; Platte II mit der Leitfähigkeit $\varkappa''$ habe die Temperatur $T'' = 81^0$ oder $20^0$ abs. und emittiere unter dem Winkel $\vartheta$ gegen die Normale Strahlung der Schwingungsdauer $\tau''$.

Platte I habe für die Schwingungsdauer $\tau'$ der einfallenden Strahlung die Absorptionsvermögen $A'_{||}(\tau')$ und $A'_{\perp}(\tau')$, für die Schwingungsdauer $\tau''$ die Absorptionsvermögen $A'_{||}(\tau'')$, $A'_{\perp}(\tau'')$; für Platte II seien die entsprechenden Größen $A''_{||}(\tau')$, $A''_{\perp}(\tau')$ und $A''_{||}(\tau'')$, $A''_{\perp}(\tau'')$. Das Reflexionsvermögen $R$ ist gleich $1 - A$.

Die insgesamt in der Platte II (innere Kugel der Vakuummantelflasche) steckenbleibende, also Wärmezufuhr darstellende Strahlungsenergie ist:

die Summe der absorbierten Mengen der von Platte I emittierten Energie und ihrer an den beiden Platten in dauerndem Wechselspiel reflektierten Teilbeträge (a)

plus der Summe der absorbierten Mengen der von Platte II selbst emittierten und an den beiden Platten reflektierten Energie (b)

minus der von der Platte II emittierten Energie (c).

Die Vorgänge (a) und (b) können getrennt behandelt werden, da es sich nach Voraussetzung um Strahlen verschiedener Schwingungszahl handelt, so daß ihre Energie sich additiv zusammensetzt.

Die Einzelreflexionen in (a) und in (b) und die Vorgänge (b) und (c) können getrennt behandelt werden, obwohl es sich um Strahlen gleicher Schwingungszahl handelt, die untereinander interferieren können. Denn im zeitlichen Mittel können die Energiebeträge durch die Interferenzen nicht beeinflußt werden.

Zu (a): Die Platte I emittiert pro Oberflächen- und Zeiteinheit unter dem Winkel $\vartheta$ im räumlichen Winkel $d\Omega$ die Energie $E' = E'_{||} + E'_{\perp}$ mit der Schwingungsdauer $\tau'$. Da sich die Betrachtung unter (a) nur auf $\tau'$ bezieht, wollen wir von einer besonderen Kennzeichnung der Größen vorläufig absehen und diese erst im Resultat anbringen.

Platte II absorbiert von $E'$

$$A''_{||} E'_{||} + A''_{\perp} E'_{\perp}$$

und reflektiert

$$R''_{||} E'_{||} + R''_{\perp} E'_{\perp}.$$

Dieser Teil fällt auf Platte I zurück, wovon reflektiert wird

$$R'_{||} R''_{||} E'_{||} + R'_{\perp} R''_{\perp} E'_{\perp}.$$

Dieser Betrag fällt auf Platte II. Hier wird weiter absorbiert

$$A''_{||} (R'_{||} R''_{||}) E'_{||} + A''_{\perp} (R'_{\perp} R''_{\perp}) E'_{\perp},$$

usw. Im ganzen wird so in Platte II absorbiert

$$A''_{||} E'_{||} (1 + R'_{||} R''_{||} + R'^2_{||} R''^2_{||} + \cdots) + A''_{\perp} E'_{\perp} (1 + R'_{\perp} R''_{\perp} + R'^2_{\perp} R''^2_{\perp} + \cdots)$$

oder

$$d W_{I\,II} = \left[\frac{A''_{||} E'_{||}}{1 - R'_{||} R''_{||}} + \frac{A''_{\perp} E'_{\perp}}{1 - R'_{\perp} R''_{\perp}}\right]_{\tau'}.$$

Hier bedeutet der Index $\tau'$ an der Klammer, daß sich alle in ihr stehenden Größen auf die Schwingungsdauer $\tau'$ beziehen.

Zu (b): Die Platte II emittiert pro Oberflächen- und Zeiteinheit unter dem Winkel $\vartheta$ im räumlichen Winkel $d\Omega$ die Energie $E'' = E''_{||} + E''_{\perp}$ mit der Schwingungsdauer $\tau''$.

An Platte I wird reflektiert

$$R'_{||} E''_{||} + R'_{\perp} E''_{\perp};$$

dieser Teil fällt auf Platte II zurück. Von ihm wird absorbiert

$$A''_{||} (R'_{||}) E''_{||} + A''_{\perp} (R'_{\perp}) E''_{\perp}$$

und reflektiert

$$R''_{||} (R'_{||}) E''_{||} + R''_{\perp} (R'_{\perp}) E''_{\perp}.$$

An Platte I wird hiervon wieder reflektiert

$$R''_{||} (R'_{||})^2 E''_{||} + R''_{\perp} (R'_{\perp})^2 E''_{\perp},$$

wovon Platte II absorbiert

$$A''_{||} (R'_{||})^2 R''_{||} E''_{||} + A''_{\perp} (R'_{\perp})^2 R''_{\perp} E''_{\perp},$$

usw. Im ganzen wird auf diese Weise absorbiert

$$A''_{||} R'_{||} E''_{||} (1 + R'_{||} R''_{||} + R'^2_{||} R''^2_{||} + \cdots) + A''_{\perp} R'_{\perp} E''_{\perp} (1 + R'_{\perp} R''_{\perp} + R'^2_{\perp} R''^2_{\perp} + \cdots)$$

oder

$$d W_{II\,I} = \left[\frac{A'_{||} R'_{||} E''_{||}}{1 - R'_{||} R''_{||}} + \frac{A''_{\perp} R'_{\perp} E''_{\perp}}{1 - R'_{\perp} R''_{\perp}}\right]_{\tau''}.$$

Zu (c): Die von Platte II unter dem Winkel $\vartheta$ im räumlichen Winkel $d\Omega$ emittierte Energie beträgt $E''(\tau'') = E''_{||}(\tau'') + E''_{\perp}(\tau'')$.

Die gesamte in Platte II verbleibende Energie ist demnach

$$W_S = \int_{\varphi=0}^{\varphi=2\pi} \int_{\vartheta=0}^{\vartheta=\frac{\pi}{2}} (d W_{I\,II} + d W_{II\,I} - E''(\tau'')),$$

oder

$$W_S = \int_{\varphi=0}^{\varphi=2\pi} \int_{\vartheta=0}^{\vartheta=\frac{\pi}{2}} \left\{\left[\frac{A''_{||} E'_{||}}{1 - R'_{||} R''_{||}} + \frac{A''_{\perp} E'_{\perp}}{1 - R'_{\perp} R''_{\perp}}\right]_{\tau'} - \left[\frac{A'_{||} E''_{||}}{1 - R'_{||} R''_{||}} + \frac{A'_{\perp} E''_{\perp}}{1 - R'_{\perp} R''_{\perp}}\right]_{\tau''}\right\}. \quad 3)$$

Setzt man in Gl. 3) für $E_{\|}$ und $E_{\perp}$ die durch Gl. 2a) gegebenen Werte ein, so erhält[1] man für die gesamte absorbierte Wärme

$$W_S = \sigma T'^4 \int\limits_0^{\frac{\pi}{2}} \left[ \frac{A'_{\|} A''_{\|}}{1 - R'_{\|} R''_{\|}} + \frac{A'_{\perp} A''_{\perp}}{1 - R'_{\perp} R''_{\perp}} \right]_{\tau'} \cos\vartheta \sin\vartheta \, d\vartheta$$

$$- \sigma T''^4 \int\limits_0^{\frac{\pi}{2}} \left[ \frac{A'_{\|} A''_{\|}}{1 - R'_{\|} R''_{\|}} + \frac{A'_{\perp} A''_{\perp}}{1 - R'_{\perp} R''_{\perp}} \right]_{\tau''} \cos\vartheta \sin\vartheta \, d\vartheta . \qquad 4)$$

Ein Gl. 4) ähnlicher Ausdruck für die Zustrahlung zweier paralleler Flächen ist schon von Wiener[2] berechnet worden. Verallgemeinert man die Wienerschen Ableitungen auf Seite 16 seiner Arbeit mit Hilfe seiner Gleichung 6), so bekommt man für den unseren Annahmen entsprechenden Teil nach Wiener als Wärmeübergang

$$W_S = \left[ \frac{a_1 a_2}{a_1 + a_2 - a_1 a_2} \right]_{\tau'} \cdot \varphi_1 - \left[ \frac{a_1 a_2}{a_1 + a_2 - a_1 a_2} \right]_{\tau''} \cdot \varphi_2 . \qquad 4a)$$

Einen Ausdruck für $\varphi$ gibt aber Wiener nicht an, sondern er sagt nur Seite 16 seiner Arbeit, daß $\varphi_1$ und $\varphi_2$ die Strahlungen der schwarzen Körper bedeuten.

Ein Vergleich des Wienerschen Ausdrucks 4a) mit dem von uns aufgestellten 4) ergibt für $\varphi_1$ und $\varphi_2$ folgendes:

$$\left.\begin{aligned} \varphi_1 &= \frac{\sigma T'^4}{\left[\left(\frac{A' A''}{1 - R' R''}\right)_{\vartheta=0}\right]_{\tau'}} \int\limits_0^{\frac{\pi}{2}} \left[ \frac{A'_{\|} A''_{\|}}{1 - R'_{\|} R''_{\|}} + \frac{A'_{\perp} A''_{\perp}}{1 - R'_{\perp} R''_{\perp}} \right]_{\tau'} \cos\vartheta \sin\vartheta \, d\vartheta , \\ \varphi_2 &= \frac{\sigma T''^4}{\left[\left(\frac{A' A''}{1 - R' R''}\right)_{\vartheta=0}\right]_{\tau''}} \int\limits_0^{\frac{\pi}{2}} \left[ \frac{A'_{\|} A''_{\|}}{1 - R'_{\|} R''_{\|}} + \frac{A'_{\perp} A''_{\perp}}{1 - R'_{\perp} R''_{\perp}} \right]_{\tau''} \cos\vartheta \sin\vartheta \, d\vartheta . \end{aligned}\right\} \qquad 5)$$

Hierbei ist $a_1$ mit $(A')_{\vartheta=0}$ und $a_2$ mit $(A'')_{\vartheta=0}$ identisch.

$\varphi_1$ und $\varphi_2$ entsprechen also nicht genau den Strahlungen der schwarzen Körper; sie sind vielmehr, wie die Werte von $A'$ und $A''$, von dem Winkel $\vartheta$ und der Polarisationsrichtung abhängig. Nur für $\vartheta = 0$ gehen $\varphi_1$ und $\varphi_2$ in die den Strahlungen der schwarzen Körper entsprechenden Werte über. Setzt man für $\varphi$ an Stelle der Werte 5) die Strahlung des schwarzen Körpers, so erhält man für $W_S$ Werte, die in unserem Fall, wie später gezeigt wird, um 30 bis 50% zu klein sind.

2. Die Ausdrücke für sämtliche Absorptions- und Reflexionsvermögen lassen sich aus der Maxwellschen Theorie herleiten.

Man habe einen metallisch absorbierenden Körper, der an Vakuum oder an Luft angrenze; $n$ sei sein Brechungsindex, $k$ der Extinktionskoeffizient im Drudeschen

[1] Einen etwas einfacheren angenäherten Ausdruck für $W_S$ erhält man, wenn man die Abhängigkeit von $\vartheta$ nur bei der emittierten Energie berücksichtigt, bei der Reflexion aber das zeitliche Mittel der Energieströmung benutzt, das aus Symmetriegründen senkrecht zu den Platten gerichtet ist. Die so erhaltenen Werte von $W_S$ sind in unserem Fall etwa 5% größer als die nach Gl. 4) berechneten genaueren Werte. Bei der Überlegung, welcher Weg der Berechnung von $W_S$ der einwandfreieste ist, wurden wir durch Herrn von Laue beraten, dem wir auch an dieser Stelle vielmals danken.

[2] O. Wiener, *Ber. d. Sächs. Gesellsch. d. Wiss. zu Leipzig* **70**. S. 13. 1918.

Sinne, $\varepsilon$ seine Dielektrizitätskonstante und $\varkappa$ sein Leitvermögen. Benutzt werde das Gaußsche Maßsystem. Auf den Körper falle unter dem Winkel $\vartheta$ gegen die Normale eine monochromatische Strahlung mit der Frequenz $\nu$ oder der Wellenlänge

$$\lambda = \frac{2\pi c}{\nu} \quad (c = \text{Lichtgeschwindigkeit}).$$

Dann sind die Reflexionsvermögen $R_{||}$ und $R_{\perp}$ gegeben durch[1]

$$R_{||} = \frac{(n - \cos\vartheta)^2 + n^2 k^2}{(n + \cos\vartheta)^2 + n^2 k^2}, \qquad R_{\perp} = \frac{\left(n - \frac{1}{\cos\vartheta}\right)^2 + n^2 k^2}{\left(n + \frac{1}{\cos\vartheta}\right)^2 + n^2 k^2}; \tag{6}$$

hier ist

$$n^2 = \frac{1}{2}\left[\varepsilon + \sqrt{\varepsilon^2 + \left(\frac{4\pi\varkappa}{\nu}\right)^2}\right] \quad \text{und} \quad n^2 k^2 = \frac{1}{2}\left[-\varepsilon + \sqrt{\varepsilon^2 + \left(\frac{4\pi\varkappa}{\nu}\right)^2}\right]. \tag{7}$$

Wir setzen $\varepsilon$ gleich 1.

Unter Einführung der Schwingungsdauer $\tau = \frac{2\pi}{\nu}$ und mit der in unseren praktischen Fällen stets zulässigen Annahme $2\varkappa\tau \gg 1$ folgt dann

$$n^2 = \varkappa\tau \quad \text{und} \quad n^2 k^2 = \varkappa\tau \qquad (k^2 = 1)$$

Mithin erhält man[2]

$$\left.\begin{aligned} \text{a)}\quad R_{||} &= \frac{(\sqrt{\varkappa\tau} - \cos\vartheta)^2 + \varkappa\tau}{(\sqrt{\varkappa\tau} + \cos\vartheta)^2 + \varkappa\tau}, \\ \text{b)}\quad R_{\perp} &= \frac{\left(\sqrt{\varkappa\tau} - \frac{1}{\cos\vartheta}\right)^2 + \varkappa\tau}{\left(\sqrt{\varkappa\tau} + \frac{1}{\cos\vartheta}\right)^2 + \varkappa\tau}. \end{aligned}\right\} \tag{8}$$

Aus Gl. 8) erhält man die gesuchten Absorptionsvermögen

$$A_{||} = 1 - R_{||} \quad \text{und} \quad A_{\perp} = 1 - R_{\perp}.$$

3. Um aus Gl. 4) mit Hilfe von Gl. 8) die von Platte II absorbierte Wärmemenge zu berechnen, wenden wir ein Näherungsverfahren an: wir berechnen die Kurven für $R_{||}$ und $R_{\perp}$ in Abhängigkeit vom Einfallswinkel $\vartheta$, grenzen gewisse Bereiche von $\vartheta$ ab, in denen wir $R_{||}$ und $R_{\perp}$ konstant, und zwar gleich ihren Mittelwerten in diesen Bereichen, setzen und führen auf diesem Wege die Integration schrittweise durch. Bezeichnen wir die in den abgegrenzten Bereichen von $\vartheta$ gebildeten Mittelwerte der Klammerausdrücke in Gl. 4)

$$\overline{\left[\frac{A'_{||} A''_{||}}{1 - R'_{||} R''_{||}} + \frac{A'_{\perp} A''_{\perp}}{1 - R'_{\perp} R''_{\perp}}\right]_{\tau'}} \quad \text{und} \quad \overline{\left[\frac{A'_{||} A''_{||}}{1 - R'_{||} R''_{||}} + \frac{A'_{\perp} A''_{\perp}}{1 - R'_{\perp} R''_{\perp}}\right]_{\tau''}}$$

[1] Siehe M. v. Laue, Die Spiegelung und Brechung des Lichtes an der Grenze zweier isotroper Körper, Handbuch der Experimentalphysik von Wien-Harms, Bd. 18, 1928, S. 164, Gl. 45). In dem Handbuchartikel beziehen sich die Zeichen || und ⊥ auf eine Welle, deren elektrische Feldstärke in der Einfallsebene liegt bzw. senkrecht zu ihr steht. Da wir als Bezugsebene die Polarisationsebene gewählt haben (siehe Fußnote S. 122), diese aber senkrecht auf der Schwingungsebene steht, vertauschen sich die in Gl. 45) verwendeten Indizes || und ⊥. Außerdem setzen wir das Reflexionsvermögen gleich $R$, nicht gleich $R^2$.

[2] Zu den gleichen Ausdrücken gelangt man mit den ganz allgemein gehaltenen Ableitungen, die W. Meißner in seiner Dissertation über die Theorie des Strahlungsdrucks, Berlin 1907, gemacht hat.

mit $\mathfrak{A}_1$ und $\mathfrak{A}_2$, und nehmen wir als Integrationsbereiche für $\vartheta$ die Intervalle von $0^0$ bis $30^0$, $30^0$ bis $60^0$ und $60^0$ bis $90^0$ an, so erhält Gl. 4) folgende Gestalt:

$$W_S = W_1 - W_2$$
$$= \sigma T'^4 \left\{ (\mathfrak{A}_1)_{0^0-30^0} \left[\frac{\sin^2\vartheta}{2}\right]_{0^0}^{30^0} + (\mathfrak{A}_1)_{30^0-60^0} \left[\frac{\sin^2\vartheta}{2}\right]_{30^0}^{60^0} + (\mathfrak{A}_1)_{60^0-90^0} \left[\frac{\sin^2\vartheta}{2}\right]_{60^0}^{90^0} \right\}$$
$$- \sigma T''^4 \left\{ (\mathfrak{A}_2)_{0^0-30^0} \left[\frac{\sin^2\vartheta}{2}\right]_{0^0}^{30^0} + (\mathfrak{A}_2)_{30^0-60^0} \left[\frac{\sin^2\vartheta}{2}\right]_{30^0}^{60^0} + (\mathfrak{A}_2)_{60^0-90^0} \left[\frac{\sin^2\vartheta}{2}\right]_{60^0}^{90^0} \right\}. \quad 9)$$

Die hier interessierenden Fälle, für die später experimentelle Daten gegeben werden, sind folgende:

1. Platte I ($T' = 290^0$) bestehe aus Eisen,
   Platte II ($T'' = 81^0$ oder $20^0$) bestehe aus Neusilber.
2. Platte I ($T' = 290^0$) und Platte II ($T'' = 81^0$ oder $20^0$) seien mit einem genügend dicken Silberüberzug versehen.

$\varrho$ sei der spezifische elektrische Widerstand in $\Omega$ cm und $\varkappa$ die in Gaußschem Maße gemessene Leitfähigkeit. Diese Größen sind für Eisen, Neusilber und Silber bei den drei genannten Temperaturen in Tabelle 1 zusammengestellt.

Tabelle 1.

| Temperatur $T^0$ abs. | Schwingungsdauer $\tau$ | Eisen $\varrho$ [$\Omega$ cm] | Eisen $\varkappa$ [sec$^{-1}$] | Neusilber $\varrho$ [$\Omega$ cm] | Neusilber $\varkappa$ [sec$^{-1}$] | Silber $\varrho$ [$\Omega$ cm] | Silber $\varkappa$ [sec$^{-1}$] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 290 | $3{,}31 \cdot 10^{-14}$ | $0{,}1 \cdot 10^{-4}$ | $90 \cdot 10^{15}$ | — | — | $16 \cdot 10^{-7}$ | $56 \cdot 10^{16}$ |
| 81 | $11{,}8 \cdot 10^{-14}$ | — | — | $0{,}52 \cdot 10^{-4}$ | $17 \cdot 10^{15}$ | $31 \cdot 10^{-8}$ | $29 \cdot 10^{17}$ |
| 20 | $47{,}1 \cdot 10^{-14}$ | — | — | $0{,}52 \cdot 10^{-4}$ | $17 \cdot 10^{15}$ | $81 \cdot 10^{-10}$ | $11 \cdot 10^{19}$ |

Spezifischer Widerstand und elektrische Leitfähigkeit für Eisen, Neusilber und Silber und die Schwingungsdauer der einfallenden Strahlung bei den benutzten Temperaturen $290^0$, $81^0$ und $20^0$ abs.

Der Wert für Neusilber entspricht eigenen Messungen[1], nach denen der Widerstand dieser Legierung bis hinab zur Temperatur des flüssigen Heliums annähernd temperaturunabhängig ist.

Die berechneten Reflexions- und Absorptionsvermögen sind in den folgenden Tabellen 2 bis 14 angegeben.

Tabelle 2.

| $\vartheta$ | $R_{\|\|}$ nach Gl. 8a) berechnet | $R_\perp$ nach Gl. 8b) berechnet | Bereich des Einfallswinkels $\vartheta$ | Mittelwerte von $R_{\|\|}$ | Mittelwerte von $R_\perp$ | Mittelwerte von $A_{\|\|}$ | Mittelwerte von $A_\perp$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $0^0$ | 0,9641 | 0,9641 | $0^0$—$30^0$ | 0,9659 | 0,9621 | 0,0341 | 0,0379 |
| $22^0{,}5$ | 0,9668 | 0,9612 | | | | | |
| $45^0{,}0$ | 0,9743 | 0,9496 | $30^0$—$60^0$ | 0,9743 | 0,9496 | 0,0257 | 0,0504 |
| $67^0{,}5$ | 0,9862 | 0,909 | | | | | |
| $89^0{,}0$ | 0,9993 | 0,224 | $60^0$—$90^0$ | 0,9908 | 0,785 | 0,0092 | 0,215 |
| $90^0{,}0$ | 1 | 1 | | | | | |

Eisen bei Zimmertemperatur ($T' = 290^0$; $\varkappa' = 90 \cdot 10^{15}$); $\tau' = 3{,}31 \cdot 10^{-14}$.

[1] W. Meißner, *Physikal. Zeitschr.* **29**. S. 897, 1928.

Tabelle 3.

| $\vartheta$ | $R_{\parallel}$ nach Gl. 8a) berechnet | $R_{\perp}$ nach Gl. 8b) berechnet | Bereich des Einfalls-winkels $\vartheta$ | Mittelwerte von | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | $R_{\parallel}$ | $R_{\perp}$ | $A_{\parallel}$ | $A_{\perp}$ |
| 0° | 0,9808 | 0,9808 | 0°—30° | 0,9821 | 0,9795 | 0,0179 | 0,0205 |
| 22°,5 | 0,9827 | 0,9789 | | | | | |
| 45°,0 | 0,9865 | 0,9732 | 30°—60° | 0,9865 | 0,9732 | 0,0135 | 0,0268 |
| 67°,5 | 0,9923 | 0,951 | | | | | |
| 89°,0 | 1 | 0,351 | 60°—90° | 0,9949 | 0,850 | 0,0051 | 0,150 |
| 90°,0 | 1 | 1 | | | | | |

Eisen bei Zimmertemperatur ($T' = 290°$; $\varkappa' = 90 \cdot 10^{15}$);
$\tau'' = 11{,}8 \cdot 10^{-14}$.

Tabelle 4.

| $\vartheta$ | $R_{\parallel}$ nach Gl. 8a) berechnet | $R_{\perp}$ nach Gl. 8b) berechnet | Bereich des Einfalls-winkels $\vartheta$ | Mittelwerte von | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | $R_{\parallel}$ | $R_{\perp}$ | $A_{\parallel}$ | $A_{\perp}$ |
| 0° | 0,9903 | 0,9903 | 0°—30° | 0,9910 | 0,9897 | 0,0090 | 0,0103 |
| 22°,5 | 0,9913 | 0,9894 | | | | | |
| 45°,0 | 0,9932 | 0,9865 | 30°—60° | 0,9932 | 0,9865 | 0,0068 | 0,0135 |
| 67°.5 | 0,9961 | 0,975 | | | | | |
| 89°,0 | 1 | 0,578 | 60°—90° | 0,9974 | 0,900 | 0,0026 | 0,100 |
| 90°,0 | 1 | 1 | | | | | |

Eisen bei Zimmertemperatur ($T' = 290°$; $\varkappa' = 90 \cdot 10^{15}$);
$\tau'' = 47{,}1 \cdot 10^{-14}$.

Tabelle 5.

| $\vartheta$ | $R_{\parallel}$ nach Gl. 8a) berechnet | $R_{\perp}$ nach Gl. 8b) berechnet | Bereich des Einfalls-winkels $\vartheta$ | Mittelwerte von | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | $R_{\parallel}$ | $R_{\perp}$ | $A_{\parallel}$ | $A_{\perp}$ |
| 0° | 0,9191 | 0,9191 | 0°—30° | 0,9234 | 0,9148 | 0,0766 | 0,0852 |
| 22°,5 | 0,9256 | 0,9126 | | | | | |
| 45°,0 | 0,9414 | 0,8878 | 30°—60° | 0,9414 | 0,8878 | 0,0586 | 0,1122 |
| 67°,5 | 0,9685 | 0,803 | | | | | |
| 89°,0 | 0,9982 | 0,237 | 60°—90° | 0,9790 | 0,730 | 0,0210 | 0,270 |
| 90°,0 | 1 | 1 | | | | | |

Neusilber bei der Temperatur der flüssigen Luft und des flüssigen Wasserstoff
($T' = 81°$ und $20°$; $\varkappa'' = 17 \cdot 10^{15}$);
$\tau' = 3{,}31 \cdot 10^{-14}$.

Tabelle 6.

| $\vartheta$ | $R_{\parallel}$ nach Gl. 8a) berechnet | $R_{\perp}$ nach Gl. 8b) berechnet | Bereich des Einfalls-winkels $\vartheta$ | Mittelwerte von | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | $R_{\parallel}$ | $R_{\perp}$ | $A_{\parallel}$ | $A_{\perp}$ |
| 0° | 0,9564 | 0,9564 | 0°—30° | 0,9588 | 0,9541 | 0,0412 | 0,0459 |
| 22°,5 | 0,9600 | 0,9530 | | | | | |
| 45°,0 | 0,9688 | 0,9391 | 30°—60° | 0,9688 | 0,9391 | 0,0312 | 0,0609 |
| 67°,5 | 0,9832 | 0,890 | | | | | |
| 89°,0 | 0,9990 | 0,174 | 60°—90° | 0,9888 | 0,735 | 0,0112 | 0,265 |
| 90°,0 | 1 | 1 | | | | | |

Neusilber bei der Temperatur der flüssigen Luft ($T'' = 81°$; $\varkappa'' = 17 \cdot 10^{15}$);
$\tau'' = 11{,}8 \cdot 10^{-14}$.

Tabelle 7.

| $\vartheta$ | $R_{\parallel}$ nach Gl. 8a) berechnet | $R_{\perp}$ nach Gl. 8b) berechnet | Bereich des Einfallswinkels $\vartheta$ | Mittelwerte von | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | $R_{\parallel}$ | $R_{\perp}$ | $A_{\parallel}$ | $A_{\perp}$ |
| $0^{\circ}$ | 0,9779 | 0,9779 | $0^{\circ}$—$30^{\circ}$ | 0,9791 | 0,9768 | 0,0209 | 0,0232 |
| $22^{\circ},5$ | 0,9797 | 0,9762 | | | | | |
| $45^{\circ},0$ | 0,9843 | 0,9690 | $30^{\circ}$—$60^{\circ}$ | 0,9843 | 0,9690 | 0,0157 | 0,0310 |
| $67^{\circ},5$ | 0,9915 | 0,943 | | | | | |
| $89^{\circ},0$ | 0,9996 | 0,307 | $60^{\circ}$—$90^{\circ}$ | 0,9944 | 0,825 | 0,0056 | 0,175 |
| $90^{\circ},0$ | 1 | 1 | | | | | |

Neusilber bei der Temperatur des flüssigen Wasserstoffs ($T'' = 20^{\circ}$; $\varkappa'' = 17 \cdot 10^{15}$); $\tau'' = 47{,}1 \cdot 10^{-14}$.

Tabelle 8.

| $\vartheta$ | $R_{\parallel}$ nach Gl. 8a) berechnet | $R_{\perp}$ nach Gl. 8b) berechnet | Bereich des Einfallswinkels $\vartheta$ | Mittelwerte von | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | $R_{\parallel}$ | $R_{\perp}$ | $A_{\parallel}$ | $A_{\perp}$ |
| $0^{\circ}$ | 0,9854 | 0,9854 | $0^{\circ}$—$30^{\circ}$ | 0,9864 | 0,9845 | 0,0136 | 0,0155 |
| $22^{\circ},5$ | 0,9869 | 0,9840 | | | | | |
| $45^{\circ},0$ | 0,9898 | 0,9797 | $30^{\circ}$—$60^{\circ}$ | 0,9898 | 0,9797 | 0,0102 | 0,0203 |
| $67^{\circ},5$ | 0,9942 | 0,963 | | | | | |
| $89^{\circ},0$ | 1 | 0,444 | $60^{\circ}$—$90^{\circ}$ | 0,9962 | 0,860 | 0,0038 | 0,140 |
| $90^{\circ},0$ | 1 | 1 | | | | | |

Silber bei Zimmertemperatur ($T' = 290^{\circ}$; $\varkappa' = 56 \cdot 10^{16}$); $\tau' = 3{,}31 \cdot 10^{-14}$.

Tabelle 9.

| $\vartheta$ | $R_{\parallel}$ nach Gl. 8a) berechnet | $R_{\perp}$ nach Gl. 8b) berechnet | Bereich des Einfallswinkels $\vartheta$ | Mittelwerte von | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | $R_{\parallel}$ | $R_{\perp}$ | $A_{\parallel}$ | $A_{\perp}$ |
| $0^{\circ}$ | 0,9907 | 0,9923 | $0^{\circ}$—$30^{\circ}$ | 0,9922 | 0,9918 | 0,0078 | 0,0082 |
| $22^{\circ},5$ | 0,9930 | 0,9915 | | | | | |
| $45^{\circ},0$ | 0,9946 | 0,9892 | $30^{\circ}$—$60^{\circ}$ | 0,9946 | 0,9892 | 0,0054 | 0,0108 |
| $67^{\circ},5$ | 0,9969 | 0,9800 | | | | | |
| $89^{\circ},0$ | 1 | 0,6443 | $60^{\circ}$—$90^{\circ}$ | 0,9980 | 0,9300 | 0,0020 | 0,0700 |
| $90^{\circ},0$ | 1 | 1 | | | | | |

Silber bei Zimmertemperatur ($T' = 290^{\circ}$; $\varkappa' = 56 \cdot 10^{16}$); $\tau'' = 11{,}8 \cdot 10^{-14}$.

Tabelle 10.

| $\vartheta$ | $R_{\parallel}$ nach Gl. 8a) berechnet | $R_{\perp}$ nach Gl. 8b) berechnet | Bereich des Einfallswinkels $\vartheta$ | Mittelwerte von | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | $R_{\parallel}$ | $R_{\perp}$ | $A_{\parallel}$ | $A_{\perp}$ |
| $0^{\circ}$ | 0,9961 | 0,9961 | $0^{\circ}$—$30^{\circ}$ | 0,9964 | 0,9958 | 0,0036 | 0,0042 |
| $22^{\circ},5$ | 0,9965 | 0,9957 | | | | | |
| $45^{\circ},0$ | 0,9973 | 0,9946 | $30^{\circ}$—$60^{\circ}$ | 0,9973 | 0,9946 | 0,0027 | 0,0054 |
| $67^{\circ},5$ | 0,9984 | 0,9899 | | | | | |
| $89^{\circ},0$ | 1 | 0,8014 | $60^{\circ}$—$90^{\circ}$ | 0,9989 | 0,9680 | 0,0011 | 0,0320 |
| $90^{\circ},0$ | 1 | 1 | | | | | |

Silber bei Zimmertemperatur ($T' = 290^{\circ}$; $\varkappa' = 56 \cdot 10^{16}$); $\tau'' = 47{,}1 \cdot 10^{-14}$.

Tabelle 11.

| $\vartheta$ | $R_{\|\|}$ nach Gl. 8a) berechnet | $R_{\perp}$ nach Gl. 8b) berechnet | Bereich des Einfallswinkels $\vartheta$ | Mittelwerte von $R_{\|\|}$ | $R_{\perp}$ | $A_{\|\|}$ | $A_{\perp}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0° | 0,9925 | 0,9935 | 0°—30° | 0,9940 | 0,9931 | 0,0060 | 0,0069 |
| 22°,5 | 0,9942 | 0,9929 | | | | | |
| 45°,0 | 0,9955 | 0,9910 | 30°—60° | 0,9955 | 0,9910 | 0,0045 | 0,0090 |
| 67°,5 | 0,9974 | 0,9833 | | | | | |
| 89°,0 | 1 | 0,6923 | 60°—90° | 0,9983 | 0,9600 | 0,0017 | 0,0400 |
| 90°,0 | 1 | 1 | | | | | |

Silber bei der Temperatur der flüssigen Luft ($T'' = 81^0$; $\varkappa'' = 29\cdot 10^{17}$); $\tau' = 3{,}31\cdot 10^{-14}$.

Tabelle 12.

| $\vartheta$ | $R_{\|\|}$ nach Gl. 8a) berechnet | $R_{\perp}$ nach Gl. 8b) berechnet | Bereich des Einfallswinkels $\vartheta$ | Mittelwerte von $R_{\|\|}$ | $R_{\perp}$ | $A_{\|\|}$ | $A_{\perp}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0° | 0,9966 | 0,9966 | 0°—30° | 0,9968 | 0,9963 | 0,0032 | 0,0037 |
| 22°,5 | 0,9969 | 0,9962 | | | | | |
| 45°,0 | 0,9976 | 0,9952 | 30°—60° | 0,9976 | 0,9952 | 0,0024 | 0,0048 |
| 67°,5 | 0,9986 | 0,9911 | | | | | |
| 89°,0 | 1 | 0,8224 | 60°—90° | 0,9991 | 0,9800 | 0,0009 | 0,0200 |
| 90°,0 | 1 | 1 | | | | | |

Silber bei der Temperatur der flüssigen Luft ($T'' = 81^0$; $\varkappa'' = 29\cdot 10^{17}$); $\tau'' = 11{,}8\cdot 10^{-14}$.

Tabelle 13.

| $\vartheta$ | $R_{\|\|}$ nach Gl. 8a) berechnet | $R_{\perp}$ nach Gl. 8b) berechnet | Bereich des Einfallswinkels $\vartheta$ | Mittelwerte von $R_{\|\|}$ | $R_{\perp}$ | $A_{\|\|}$ | $A_{\perp}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0° | 0,9989 | 0,9989 | 0°—30° | 0,9989 | 0,9988 | 0,0011 | 0,0012 |
| 22°,5 | 0,9989 | 0,9988 | | | | | |
| 45°,0 | 0,9993 | 0,9985 | 30°—60° | 0,9993 | 0,9985 | 0,0007 | 0,0015 |
| 67°,5 | 0,9996 | 0,9973 | | | | | |
| 89°,0 | 1 | 0,9414 | 60°—90° | 1 | 0,9900 | 0 | 0,0100 |
| 90°,0 | 1 | 1 | | | | | |

Silber bei der Temperatur des flüssigen Wasserstoffs ($T'' = 20^0$; $\varkappa'' = 11\cdot 10^{19}$) $\tau' = 3{,}31\cdot 10^{-14}$.

Tabelle 14.

| $\vartheta$ | $R_{\|\|}$ nach Gl. 8a) berechnet | $R_{\perp}$ nach Gl. 8b) berechnet | Bereich des Einfallswinkels $\vartheta$ | Mittelwerte von $R_{\|\|}$ | $R_{\perp}$ | $A_{\|\|}$ | $A_{\perp}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0° | 0,9997 | 0,9997 | 0°—30° | 0,9997 | 0,9997 | 0,0003 | 0,0003 |
| 22°,5 | 0,9997 | 0,9997 | | | | | |
| 45°,0 | 0,9998 | 0,9996 | 30°—60° | 0,9998 | 0,9996 | 0,0002 | 0,0004 |
| 67°,5 | 0,9999 | 0,9993 | | | | | |
| 89°,0 | 1 | 0,9841 | 60°—90° | 0,9999 | 0,9900 | 0,0001 | 0,0100 |
| 90°,0 | 1 | 1 | | | | | |

Silber bei der Temperatur des flüssigen Wasserstoffs $T'' = 20^0$; $\varkappa'' = 11\cdot 10^{19}$) $\tau'' = 47{,}1\cdot 10^{-14}$.

In der Tabelle 15 sind die nach Gl. 9) berechneten, in der Platte II bei dem Strahlungsaustausch verbleibenden Wärmemengen für die einzelnen Plattenkombinationen zusammengestellt.

Tabelle 15.

| Plattenkombination | $W_1$ in $\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2\,\text{sec}}$ (Gl. 9) | $W_2$ in $\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2\,\text{sec}}$ (Gl. 9) | $W_S$ in $\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2\,\text{sec}}$ (Gl. 9) |
|---|---|---|---|
| $(T' = 290^0)$ — Neusilber $(T'' = 81^0)$ | $3{,}67\cdot10^{-4}$ | $1{,}36\cdot10^{-6}$ | $3{,}66\cdot10^{-4}$ |
| $(T' = 290^0)$ — Neusilber $(T'' = 20^0)$ | $3{,}67\cdot10^{-4}$ | $0{,}31\cdot10^{-8}$ | $3{,}67\cdot10^{-4}$ |
| $(T' = 290^0)$ — Silber $(T'' = 81^0)$ | $7{,}42\cdot10^{-5}$ | $0{,}22\cdot10^{-6}$ | $7{,}40\cdot10^{-5}$ |
| $(T' = 290^0)$ — Silber $(T'' = 20^0)$ | $1{,}90\cdot10^{-5}$ | $0{,}26\cdot10^{-8}$ | $1{,}90\cdot10^{-5}$ |

Die nach Gl. 9) berechneten, von Platte II beim Strahlungsaustausch absorbierten Wärmemengen.

Wie man sieht, kann man für die hier behandelten Fälle das Glied $W_2$ vernachlässigen.

Um einen zahlenmäßigen Vergleich mit den sich aus der Wienerschen Formel [Gl. 4a)] ergebenden Werten für die absorbierten Wärmemengen anstellen zu können, berechnen wir mittels Gl. 4a) die gewünschten Energiebeträge, indem wir für $a_1 = 1 - r_1$ und $a_2 = 1 - r_2$ in dem Wienerschen Ausdruck die Größen nehmen, die sich aus unseren Tabellen 2 bis 14 für senkrechte Inzidenz $[\vartheta = 0;\ R_{||} = R_{\perp} = r]$ ergeben, und indem wir für $\varphi_1$ und $\varphi_2$ die Strahlungen der schwarzen Körper $\sigma T'^4$ bzw. $\sigma T''^4$ einsetzen. Man erhält dann die in Tabelle 16 zusammengestellten Werte.

Tabelle 16.

| Plattenkombination | $\left[\frac{a_1 a_2}{a_1 + a_2 - a_1 a_2}\right]_{T'} \cdot \varphi_1$ | $\left[\frac{a_1 a_2}{a_1 + a_2 - a_1 a_2}\right]_{T''} \cdot \varphi_2$ | $W_S$ in $\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2\,\text{sec}}$ (Gl. 4a) |
|---|---|---|---|
| $(T' = 290^0)$ — Neusilber $(T'' = 81^0)$ | $2{,}48\cdot10^{-4}$ | $0{,}76\cdot10^{-6}$ | $2{,}47\cdot10^{-4}$ |
| $(T' = 290^0)$ — Neusilber $(T'' = 20^0)$ | $2{,}48\cdot10^{-4}$ | $0{,}15\cdot10^{-8}$ | $2{,}48\cdot10^{-4}$ |
| $(T' = 290^0)$ — Silber $(T'' = 81^0)$ | $4{,}39\cdot10^{-5}$ | $0{,}14\cdot10^{-6}$ | $4{,}38\cdot10^{-5}$ |
| $(T' = 290^0)$ — Silber $(T'' = 20^0)$ | $1{,}00\cdot10^{-5}$ | $0{,}006\cdot10^{-8}$ | $1{,}00\cdot10^{-5}$ |

Die nach O. Wiener (Gl. 4a) berechneten, von Platte II beim Strahlungsaustausch absorbierten Wärmemengen.

Der Vergleich von Tabelle 15 mit Tabelle 16 zeigt, daß die nach Wiener berechneten Wärmemengen um 30 bis 50 % unter den nach unserer Formel [Gl. 4)] bestimmten Energiebeträgen liegen.

4. Nach Tabelle 15 ist also das Ergebnis folgendes:

Steht der Eisenplatte $(T' = 290^0)$ eine Neusilberplatte gegenüber, so werden, wenn das Neusilber auf $81^0$ abs. abgekühlt ist,

$$3{,}66\cdot10^{-4}\,\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2\,\text{sec}},\quad \text{d. h.}\ 1{,}32\,\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2\,\text{st}},$$

wenn das Neusilber auf $20^0$ abs. abgekühlt ist,

$$3{,}67\cdot10^{-4}\,\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2\,\text{sec}},\quad \text{d. h.}\ 1{,}32\,\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2\,\text{st}}$$

der Platte II durch Strahlung zugeführt.

Sind die beiden Platten so stark versilbert, daß für die Absorption allein der Silberbeschlag maßgebend ist, so werden, wenn sich Platte I auf $290^0$ und Platte II auf $81^0$ befinden,

$$7{,}40\cdot10^{-5}\,\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2\,\text{sec}},\quad \text{d. h.}\ 0{,}266\,\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2\,\text{st}},$$

wenn sich Platte I auf 290° und Platte II auf 20° befinden,

$$1{,}90 \cdot 10^{-5} \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2\,\text{sec}}, \quad \text{d. h.} \quad 0{,}068 \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2\,\text{st}}$$

der Platte II durch Strahlung zugeführt.

5. Außer dem durch Vorstehendes gegebenen Energietransport durch Strahlung ist bei Vakuummantelflaschen noch ein solcher infolge der Wärmeleitung durch den Hals und den über der Flüssigkeit befindlichen Teil der inneren Wandung sowie durch etwa zurückgebliebene Gasreste vorhanden.

a) Die durch Wärmeleitung im Metall in der Zeiteinheit zugeführte Wärmemenge ist

$$W_M = -\frac{dT}{dx} \cdot f \cdot \Lambda,$$

wo $T$ die Temperatur, $x$ die Richtung des Temperaturgefälles, $f$ der Querschnitt an der betrachteten Stelle und $\Lambda$ das Wärmeleitvermögen ist.

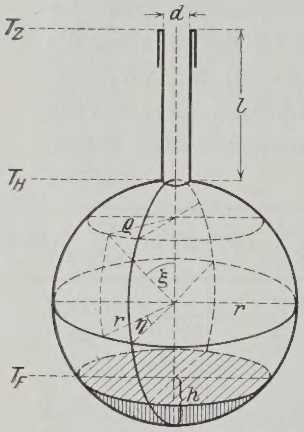



Abb. 1. Innere Wandung einer Vakuummantelflasche.

Der Querschnitt im Hals ist konstant, in der Wandung der Kugel aber veränderlich. Wir führen die Rechnung für die Kugel und den Hals getrennt durch und schließen die beiden einzelnen Ergebnisse durch eine Grenzbetrachtung aneinander an.

Auf einem Längenkreise der Kugel (siehe Abb. 1) besteht ein gewisser Temperaturabfall, den wir bestimmen müssen. Die Flächen gleicher Temperatur sind konzentrische Ringflächen. Ist die Metallwandung nicht allzu dick, so kann man annehmen, daß alle Äquipotentialflächen im Metall senkrecht zu seiner Oberfläche stehen und in radialer Richtung kein Wärmefluß stattfindet. Wir betrachten ein Volumenelement, das zwischen den Breiten $\xi$ und $\xi + d\xi$, den Kugelradien $r$ und $r + dr$ und den Längen $\eta$ und $\eta + d\eta$ liegt.

In äquatorialer und nach Annahme auch in radialer Richtung fließt keine Wärme. In das Volumenelement $d\tau$ tritt die Wärmemenge ein:

$$d W_M = -\frac{dT}{r\,d\xi}\,\varrho\, d\eta\, dr\, \Lambda = -\frac{dT}{r\,d\xi}\, r \sin\xi\, d\eta\, dr\, \Lambda,$$

in das Ringvolumen also ($\Delta r$ = Dicke der Metallwandung)

$$W_M = -\int\limits_{\eta=0}^{2\pi}\int\limits_{r=r_1}^{r_2} \frac{dT}{d\xi} \sin\xi\, d\eta\, dr\, \Lambda = -2\pi\, \Delta r\, \Lambda \left[\frac{dT}{d\xi}\sin\xi\right]. \qquad r_2 - r_1 = \Delta r. \qquad 10)$$

$W_M$ muß unabhängig von $\xi$ sein, falls andere Wärmezufuhr, z. B. Strahlung, unberücksichtigt bleibt. Dann ist

$$\left.\begin{aligned} \frac{dT}{d\xi}\sin\xi &= \text{constans} = c_1, \\ T &= c_1 \ln \operatorname{tg}\left(\frac{\xi}{2}\right) + c_2. \end{aligned}\right| \qquad 11)$$

Am freien oberen Ende des Halses herrsche die Temperatur $T_Z$, am Halsansatz die Temperatur $T_H$ und an der Flüssigkeitsoberfläche die Temperatur $T_F$;

die den Temperaturen $T_H$ und $T_F$ entsprechenden Werte von $\xi$ seien $\xi_H$ und $\xi_F$. Dann ist

$$\left.\begin{aligned} T_F &= c_1 \ln \operatorname{tg}\left(\frac{\xi_F}{2}\right) + c_2, \\ T_H &= c_1 \ln \operatorname{tg}\left(\frac{\xi_H}{2}\right) + c_2. \end{aligned}\right\}$$

Ferner müssen am Halsansatz die Temperaturgefälle, berechnet vom Hals und von der Kugel her, einander gleich sein:

$$\frac{T_Z - T_H}{l} = -\left(\frac{1}{r} \cdot \frac{dT}{d\xi}\right)_H = -\frac{1}{r} \cdot \frac{c_1}{\sin \xi_H}$$

oder

$$T_H = T_Z + \frac{l \cdot c_1}{r \cdot \sin \xi_H},$$

wobei $l$ die Länge des Halses bedeutet. Für die Konstanten $c_1$ und $c_2$ erhält man also:

$$\left.\begin{aligned} c_1 &= -\frac{T_H - T_F}{\ln \dfrac{\operatorname{tg}\left(\frac{\xi_F}{2}\right)}{\operatorname{tg}\left(\frac{\xi_H}{2}\right)}} = -\frac{T_Z - T_F}{\dfrac{l}{r \cdot \sin \xi_H} + \ln \dfrac{\operatorname{tg}\left(\frac{\xi_F}{2}\right)}{\operatorname{tg}\left(\frac{\xi_H}{2}\right)}}, \\ c_2 &= T_F - c_1 \ln \operatorname{tg}\left(\frac{\xi_F}{2}\right). \end{aligned}\right\} \qquad 12)$$

Die durch Wärmeleitung in die innere Hohlkugel eintretende Wärmemenge ist daher nach Gl. 10), 11) und 12):

$$W_M = 2\pi \Delta r \Lambda \frac{T_Z - T_F}{\dfrac{l}{r \cdot \sin \xi_H} + \ln \dfrac{\operatorname{tg}\left(\frac{\xi_F}{2}\right)}{\operatorname{tg}\left(\frac{\xi_H}{2}\right)}} \frac{\text{cal}}{\text{sec}}. \qquad 13)$$

Es ist, wenn $d$ die lichte Weite des Halses bedeutet,

$$\sin \xi_H = \frac{d}{2r}; \quad \operatorname{tg}\left(\frac{\xi_H}{2}\right) = \frac{d}{2r + \sqrt{4r^2 - d^2}}; \quad \operatorname{tg}\left(\frac{\xi_F}{2}\right) = \sqrt{\frac{2r - h}{h}}.$$

ln bedeutet den natürlichen Logarithmus.

Die zahlenmäßige Durchführung ergibt folgendes:

Es sei eine 10-Liter-Flasche mit $V$ Liter flüssiger Luft gefüllt. Die Kugelzone mit der Höhe $h$ hat das Volumen:

$$V = \frac{\pi h^2}{3}(3r - h).$$

Bei $V = 2{,}8$ Liter, wie es bei einem Versuch mit der Flasche Nr. 51203 der Fall war, dann folgt $h = 9{,}40$ cm bei $r = 13{,}35$ cm.

Der Außendurchmesser des Halses der Flasche ist $d_2 = 1{,}60$ cm, der Innendurchmesser $d_1 = 1{,}48$ cm, die Halslänge $l = 20$ cm.

Für Neusilber, woraus die innere Wandung der Mantelflasche besteht, ist

$$\Lambda = 0{,}08 \frac{\text{cal}}{\text{Grad cm sec}}.$$

Ist $T_Z = 290^0$, $T_F = 80^0$ (Füllung mit flüssiger Luft), so wird

$$c_1 = -6{,}79; \quad c_2 = 82.08; \quad T_H = 106^0; \quad T_H - T_F = 26^0.$$

Der Unterschied zwischen der Temperatur am Halsansatz und der Flüssigkeitsoberfläche ist nicht sehr beträchtlich, kann also bei der vorliegenden Annäherung vernachlässigt werden. Man darf mithin annehmen, die Flasche sei ganz gefüllt. Weiter ist

$$W_M = 0{,}204 \frac{\text{cal}}{\text{sec}} = 734 \frac{\text{cal}}{\text{st}}.$$

Dieselbe Flasche sei nun entsprechend einem anderen Versuch mit 4 Liter flüssigem Wasserstoff gefüllt; dann wird $h = 11{,}65$ cm bei $r = 13{,}35$ cm, ferner

$$c_1 = -8{,}78; \quad c_2 = 21{,}12; \quad T_H = 53^0; \quad T_H - T_F = 33^0;$$

$$W_M = 0{,}263 \frac{\text{cal}}{\text{sec}} = 947 \frac{\text{cal}}{\text{st}}.$$

Etwas abgeändert werden die Verhältnisse durch das im Innern der Neusilberflasche in die Höhe ziehende verdampfte Gas[1]; doch spielt dies im vorliegenden Fall keine Rolle.

b) Bisher wurde zwischen den Platten stets absolutes Vakuum angenommen. Abgesehen davon, daß im Anfang noch geringe Luftspuren vorhanden sind, besteht die Möglichkeit, daß die beiden Metallwände nach und nach Gas abgeben, das nicht völlig durch die Adsorptionskohle aufgenommen wird.

Ist $p$ der Druck des Gases in mm Hg, so ist der Wärmeübergang pro Flächen- und Zeiteinheit (sec) nach Knudsen[2]

$$W_G < \eta p \sqrt{\frac{273}{T''}} (T' - T''), \qquad 14)$$

wobei $T'$ und $T''$ die Temperaturen an den beiden Oberflächen im Metall bedeuten. Ist das abgegebene Gas Wasserstoff und wird $p$ in mm Hg angegeben, so ist

$$\eta = 1{,}4 \cdot 10^{-2} \left[\frac{\text{cal}}{\text{sec cm}^2 \text{ Grad (mm Hg)}}\right].$$

Für sehr rauhe Oberflächen, wie sie bei uns vorliegen, ist in dem Ausdruck für $W_G$ das $<$ durch $=$ zu ersetzen. Es wird dann

mit $T' = 290^0$, $T'' = 80^0$ (flüssige Luft): $W_G = 5{,}4 \cdot p \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2\,\text{sec}} = 19\,000 \cdot p \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2\,\text{st}}$,

mit $T' = 290^0$, $T'' = 20^0$ (flüssiger Wasserstoff): $W_G = 14 \cdot p \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2\,\text{sec}} = 50\,000 \cdot p \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2\,\text{st}}$.

Für Luft als Restgas wird die übertragene Wärme etwa 0,4 hiervon.

## II. Experimenteller Teil.

Als die von der Sprengluft-Gesellschaft bezogenen, für flüssige Luft bestimmten, metallenen Vakuummantelgefäße von 10 l Inhalt auseinandergenommen wurden, zeigte sich folgendes:

Das an der inneren Hohlkugel unten angebrachte Gefäß für Adsorptionskohle (vgl. Abb. 2) besaß nur 4 kleine Öffnungen von 3 mm Durchmesser. Diese Öffnungen waren innen durch feinmaschige Drahtgewebe verschlossen. Auf den Drahtsieben war weiter eine Schicht aus dünnem Papier befestigt, die in der Mitte eingeschnitten war. Diese Art des Verschlusses hat nach freundlicher Mitteilung von Herrn Assessor Dr. Lisse folgenden Zweck: Es soll dadurch verhindert werden, daß Kohlestaub aus dem Ad-

---

[1] Vgl. hierzu G. R. D. Hogg, *Trans. Faraday Soc.* **20.** S. 327. 1924.

[2] M. Knudsen, *Ann. d. Phys.* **34.** S. 593. 1911.

orptionsgefäß in den Vakuumraum gelangt. Die Papierblättchen sollen sich beim Adorbieren des Gases an der Adsorptionskohle, also beim Überdruck, öffnen. Jedenfalls var klar, daß die Strömungsgeschwindigkeit des zu adsorbierenden Gases von sehr geringem Druck bei den sehr kleinen Verbindungsöffnungen sehr klein werden muß. Dadurch erklärt es sich, daß beim Eingießen von flüssigem Wasserstoff eine unverhältnismäßig große Menge desselben verbraucht wird, bis genügend hohes Vakuum hergestellt st. Während bei der Benutzung für flüssige Luft diese Verzögerung der Evakuierungsgeschwindigkeit und der dementsprechende Mehrverbrauch an verflüssigtem Gas vielleicht nicht von großer Bedeutung ist, waren, wie eingangs bemerkt, die Vakuummantelflaschen, schon wegen der langsamen Evakuierungsgeschwindigkeit, für flüssigen Wasserstoff unbrauchbar. Außerdem stellte sich, wie ebenfalls eingangs bemerkt, heraus, daß die Strahlungsverluste noch verhältnismäßig groß waren, weil die innere Hohlkugel und die Wandungen des Adsorptionsgefäßes aus Neusilber und die äußere Hohlkugel aus Eisen bestand. Bei den früher bezogenen 5-Liter-Flaschen waren die Öffnungen zum Kohlegefäß größer, und Innen- und Außenwandung bestand aus Messing. Hierdurch erklärt es sich, daß die 5-Liter-Flaschen für flüssigen Wasserstoff brauchbarer als die 10-Liter-Flaschen waren. Nach Mitteilung der Sprengluft-Gesellschaft werden die Außenwandungen jetzt wieder aus Messing hergestellt.

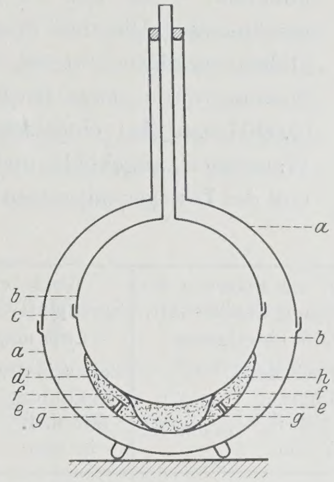



Abb. 2. Querschnitt durch eine metallene Vakuummantelflasche der Sprengluftgesellschaft.
$a$ = äußere Wandung aus Eisen,
$b$ = innere Wandung aus Neusilber,
$c$ = evakuierter Raum,
$d$ = Gefäß mit Adsorptionskohle,
$e$ = 4 Röhrchen aus Neusilber,
$f$ = engmaschiges Sieb,
$g$ = 3 Neusilberstreifen,
$h$ = Adsorptionskohle.

Um bei den gelieferten 10-Liter-Flaschen zunächst genügend hohe Evakuierungsgeschwindigkeit durch die Adsorptionskohle zu ermöglichen, wurde folgendermaßen verfahren:

Das Adsorptionsgefäß erhielt die in Abb. 3 dargestellte Form, so daß große Öffnungen zwischen ihm und dem Vakuummantelraum vorhanden waren. Die Öffnungen waren durch feinmaschiges Drahtgewebe verschlossen, um das Herausfallen der Adsorptionskohle zu verhindern.

Die Wandung des Adsorptionsgefäßes besteht aus Kupferblech. Das Gefäß enthält etwa 100 g Kohle. Das Adsorptionsgefäß ist mit der inneren Neusilberwandung an seinem umgebogenen Rand gut verlötet, damit eine rasche Abkühlung des Adsorptionsgefäßes beim Einfüllen des flüssigen Wasserstoffs erfolgt.

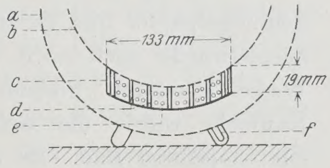



Abb. 3. Neues Gefäß für Adsorptionskohle.
$a$ = äußere Wandung,
$b$ = innere Wandung,
$c$ = Kohlegefäß aus Kupferblech, 0,3 mm stark,
$d$ = 20 Einschnitte, 2 mm breit,
$e$ = 40 Löcher von 3 mm ∅,
$f$ = Kupferrohr zum Evakuieren des Mantelraumes.

Weiter erwies es sich als zweckmäßig, nicht die von der Sprengluft-Gesellschaft gelieferte Kohle, die aus einem Gemisch von verschiedenen aktivierten Holzkohlen besteht, sondern Kokosnußkohle, die in der Reichsanstalt hergestellt wurde, zu verwenden. Diese Kohle, die an sich schon recht hart ist, wurde vor dem Einfüllen in das Adsorptionsgefäß durch mehrfaches plötzliches Evakuieren gut entstaubt, um zu verhindern, daß allmählich Kohlestaub aus dem Adsorptionsgefäß in den Vakuummantel gelangt.

Daß die Kokosnußkohle für den vorliegenden Zweck geeigneter war, als die von der Sprengluft-Gesellschaft gelieferte aktivierte Holzkohle, ergab folgender Versuch:

Drei ungefähr gleiche, einseitig zugeschmolzene, rechtwinklig umgebogene Glasrohre vo ca. 11 mm lichter Weite und 20 cm Länge wurden mit drei Sorten Kohle — a) mi älterer Adsorptionskohle aus Vakuummantelflaschen der Heylandt-Gesellschaft b) mit Kohlegemisch der Sprengluft-Gesellschaft, c) mit selbstgebrannter Kokos nußkohle — bis fast zu gleicher Höhe gefüllt und an eine Hochvakuumpumpe an geschlossen. Alle drei Sorten wurden dann ca. $4^1/_2$ Stunden lang durch öfteres Aus glühen sorgfältig entgast und bis zu einem Druck von $7 \times 10^{-5}$ mm Hg evakuiert Sodann wurde etwas trockene Luft (0,02 bis 0,04 mm Hg) oder trockener Wasserstof (0,0007 mm Hg) eingelassen, nacheinander jedes der einzelnen Rohre mit flüssigen Wasserstoff abgekühlt und die Schnelligkeit der Adsorption durch Messung der Zei und des Druckes mit einem McLeodschen Manometer festgestellt. Das Experiment ergab

Tabelle 17.

| Kohle aus Flaschen der Heylandt-Gesellschaft, Luft eingelassen | | Kohle von der Sprengluft-Gesellschaft, Luft eingelassen | | Selbstgebrannte Nußkohle, Luft eingelassen | | Selbstgebrannte Nußkohle, Wasserstoff eingelass | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Zeit seit der Abkühlung mit fl. $H_2$ in min | Druck in mm Hg | Zeit seit der Abkühlung mit fl. $H_2$ in min | Druck in mm Hg | Zeit seit der Abkühlung mit fl. $H_2$ in min | Druck in mm Hg | Zeit seit der Abkühlung mit fl. $H_2$ in min | Druc in mm |
| 0 | 0,019 | 0 | 0,038 | 0 | 0,061 | 0 | 0,000 |
| 1,5 | 0,00018 | 0,5 | 0,00495 | 2 | 0,00003 | 2 | 0,000 |
| 3,5 | 0,00007 | 3,5 | 0,00003 | 4 | 0,00001 | 4 | ~ Klebeva |
| 6,5 | 0,00003 | 6,0 | 0,00003 | 8 | ~ Klebevakuum | 8 | ~ Klebeva |
| 11,0 | 0,00002 | 11,0 | 0,00003 | 12 | Klebevakuum | 12 | Klebevak |

Adsorption von Luft und Wasserstoff durch verschiedene Kohlesorten bei Abkühlung mit flüssigem Wasserstoff (fl. $H_2$).

Die selbstgebrannte Kokosnußkohle ist somit für den vorliegenden Zweck, d. h. die Erreichung möglichst hohen Vakuums, am besten.

Um die Strahlungsverluste herabzudrücken, wurden die Innenwandungen mit einem galvanischen Silberüberzug versehen, wozu die vorhergehende Verkupferung sich als notwendig erwies. Vor der galvanischen Behandlung wurde die Innenfläche mit Schmirgelpapier und Putzmitteln von Verunreinigungen und Oxyd befreit. Die Eisenfläche wurde auch noch mit verdünnter Schwefelsäure gebeizt und mit destilliertem Wasser gereinigt. Sodann wurde die Innenfläche mit Benzol und Alkohol entfettet. Nunmehr wurde die Innenfläche elektrolytisch verkupfert. Als Kupferbad diente ein oxalsaures Bad. Es enthielt (siehe H. Steinach und G. Buchner, Galvanische Metallniederschläge, Berlin) auf 10 kg Wasser: 0,25 kg Kupfersulfat, 0,53 kg Oxalsäure, 0,05 kg konz. Ammoniaklösung. Die Anode bestand aus 0,4 mm starkem Elektrolyt-Kupferblech mit $99{,}9\,^0/_0$ Kupfergehalt. Der Kupferschicht wurde eine Dicke von 5 $\mu$ gegeben. Nach der Verkupferung wurde die Flasche mit destilliertem Wasser abgespült und sodann in einem cyanhaltigen Silberbad versilbert, wobei die Anode aus 0,2 mm starkem Feinsilberblech mit nahezu $100\,^0/_0$ Silbergehalt hergestellt war. Auch die Dicke der Silberschicht wurde auf 5 $\mu$ gebracht. Die Stromdichte betrug sowohl bei der Verkupferung wie bei der Versilberung 3 mA/cm$^2$.

Da es sich bei der im Vakuummantel auftretenden Strahlung im wesentlichen um Wärmestrahlung handelt, ist es zur guten Reflexion derselben nicht notwendig, daß die versilberten Flächen blank sind; es kommt vielmehr darauf an, daß die Oberfläche aus wirklich reinem Silber besteht. Deshalb wurde die Versilberung so gelassen,

wie sie bei der Elektrolyse entstand, und nur darauf geachtet, daß sie nicht verschmutzt wurde.

Die äußere Wandung des Adsorptionsgefäßes wurde mitverkupfert und -versilbert. Der Hals der äußeren und inneren Hohlkugel wurde nicht versilbert, um die Wärmeleitung längs des Halses nicht zu erhöhen.

Bezüglich der Dicke der Silberschicht ist noch folgendes zu bemerken: Sie muß so groß sein, daß die in das Metall eindringende Strahlung in der Silberschicht so weit geschwächt wird, daß keine nennenswerte Strahlung mehr in die Neusilber- oder Eisenschicht eindringt. Sei bei Annahme eines rechtwinkligen Koordinatensystems ($x$-Achse $\perp$ auf Metalloberfläche) $H_y$ die $y$-Komponente der magnetischen Feldstärke im Metall bei senkrechter Inzidenz, $H_{y_0}$ ihr Wert an der Oberfläche, so ist[1]

$$H_y = H_{y_0} e^{-\frac{\nu}{c} \alpha x}.$$

Dabei bedeuten: $\nu$ = Frequenz, $c$ = Lichtgeschwindigkeit, $\alpha = \sqrt{\frac{\varepsilon' - 1}{2}}$, $\varepsilon' \sim 2\varkappa\tau \gg 1$, $\varkappa$ = Leitfähigkeit, $\tau$ = Schwingungsdauer der einfallenden Strahlung, $x$ = Eindringtiefe.

Mit $\tau = 3{,}31 \cdot 10^{-14}$ ($\lambda = 9{,}93\,\mu$) wird $\frac{\nu}{c} = \frac{2\pi}{\lambda} = 0{,}63 \cdot 10^4$. Für $x = 5\,\mu = 5 \cdot 10^{-4}$ cm wird dann

bei Silber ($T' = 290^0$ abs.; $\varkappa = 56 \cdot 10^{16}$): $H_y = H_{y_0} \cdot 10^{-190}$,

bei Silber ($T' = 81^0$ abs.; $\varkappa = 29 \cdot 10^{17}$): $H_y = H_{y_0} \cdot 10^{-420}$,

bei Silber ($T' = 20^0$ abs.; $\varkappa = 11 \cdot 10^{19}$): $H_y = H_{y_0} \cdot 10^{-2600}$.

Die Schichtdicke ist also größer als erforderlich. Im Neusilber selbst findet keine in Betracht kommende Absorption der Strahlung statt.

Nachdem die Flasche zusammengelötet war, wurde sie unter Erhitzen mit einer Diffusionsluftpumpe möglichst hoch evakuiert. Dabei wurde folgendermaßen verfahren: In die äußere Wandung (Abb. 3) war bei $f$ ein Kupferrohr von 3 mm Innendurchmesser eingelötet, welches nach dem Evakuieren zusammengepreßt und verlötet werden konnte. Die Flasche wurde in einem elektrischen Heizofen für Temperaturen bis etwa 120° C so eingebaut, daß der aus dem Ofen herausragende Hals an der einen Schale einer auf dem Ofen stehenden Waage befestigt werden konnte. Das soeben erwähnte Kupferrohr wurde durch ein gut federndes Glasrohr mit der Diffusionspumpe verbunden. Die Aufhängung an der Waage hatte folgenden Zweck: Es konnte vor dem Abnehmen der Flasche von der Diffusionspumpe die pro Stunde in derselben verdampfte Menge Luft festgestellt werden, so daß man sich vergewissern konnte, daß die Flasche in Ordnung war. Die Flasche wurde unter Erhitzen auf etwa 100° C (höheres Erhitzen war wegen der Weichlötung nicht ratsam) bei etwa achtstündigem täglichen Pumpen ungefähr 6 Tage lang ausgepumpt, bis nach Abkühlung des Ofens auf Zimmertemperatur in dem Vakuummantel Klebevakuum herrschte. Die Güte des Vakuums wurde sodann mehrere Tage durch Messungen verfolgt. Dieselben ergaben, daß der Druck in einem Jahr etwa um 0,025 mm Hg ansteigt, so daß die Flasche erst nach einigen Jahren neu evakuiert zu werden braucht.

Schließlich wurde das oben erwähnte Kupferrohr mit Hilfe einer zusammenschraubbaren Stahlklemme abgeklemmt, abgeschnitten und mit Zinn zugelötet. Die Verwendung des Verbindungsrohres aus Kupfer erwies sich günstiger als die eines Ver-

[1] Siehe W. Meißner, Diss. Berlin 1907. S. 21.

bindungsrohres aus Blei, wie es die Sprengluft-Gesellschaft verwendet. Besondere Versuche zeigten nämlich, daß beim Abklemmen des Bleirohres das Eindringen von Luft ohne besondere Vorkehrungen[1] vor dem Zulöten nicht zuverlässig vermieden wurde.

### III. Praktische Ergebnisse und ihr Vergleich mit der Theorie.

Im folgenden sind die experimentellen Ergebnisse bei Vakuummantelflaschen (zwei konzentrische Hohlkugeln) mit den für zwei parallele Metallplatten theoretisch erhaltenen Resultaten verglichen.

Unversilberte Vakuummantelflasche aus Metall: Äußere Wandung Eisen, innere Wandung Neusilber, beide Kugeln unversilbert, Oberfläche der Neusilberkugel $O = 22{,}4 \cdot 10^2\ \mathrm{cm}^2$.

a) Füllung mit flüssiger Luft $\left(\text{Verdampfungswärme } 50\ \frac{\mathrm{cal}}{\mathrm{g}}\right)$.

Berechnete Werte:

Wärmezufuhr durch Wärmeleitung im Metall: $W_M = \frac{734}{22{,}4 \cdot 10^2} = 0{,}328\ \frac{\mathrm{cal}}{\mathrm{cm}^2\,\mathrm{st}}$,

durch Strahlung im Vakuum: $W_S = 1{,}32\ \frac{\mathrm{cal}}{\mathrm{cm}^2\,\mathrm{st}}$,

also zusammen: $W_M + W_S = 1{,}65\ \frac{\mathrm{cal}}{\mathrm{cm}^2\,\mathrm{st}}$.

Menge verdampfter flüssiger Luft: $\frac{1{,}65}{50} = 0{,}033\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm}^2\,\mathrm{st}}$.

Experimentelle Werte:

Metallflasche Nr. 51203: Verdampfung $54{,}5\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{st}}$, also $\frac{54{,}5}{22{,}4 \cdot 10^2} = 0{,}024\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm}^2\,\mathrm{st}}$,

Metallflasche Nr. 51202: Verdampfung $50{,}6\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{st}}$, also $\frac{50{,}6}{22{,}4 \cdot 10^2} = 0{,}023\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm}^2\,\mathrm{st}}$.

b) Füllung mit flüssigem Wasserstoff $\left(\text{Verdampfungswärme } 107\ \frac{\mathrm{cal}}{\mathrm{g}}\right)$[2].

Berechnete Werte:

Wärmezufuhr durch Wärmeleitung im Metall: $W_M = \frac{947}{22{,}4 \cdot 10^2} = 0{,}423\ \frac{\mathrm{cal}}{\mathrm{cm}^2\,\mathrm{st}}$,

durch Strahlung im Vakuum: $W_S = 1{,}32\ \frac{\mathrm{cal}}{\mathrm{cm}^2\,\mathrm{st}}$,

also zusammen: $W_M + W_S = 1{,}74\ \frac{\mathrm{cal}}{\mathrm{cm}^2\,\mathrm{st}}$.

Menge verdampften flüssigen Wasserstoffs: $\frac{1{,}74}{107} = 0{,}016\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm}^2\,\mathrm{st}}$.

---

[1] Nach Mitteilung der Sprengluftgesellschaft verzinnt sie das Bleirohr innen und benutzt zum Abklemmen eine erhitzte Zange, so daß das Zinn zusammenschmilzt. Man kann auch, wie es früher im Kältelaboratorium geschah, ein innen stark verzinntes U-Rohr aus Kupfer benutzen, in dem man zum Verschluß das Zinn zusammenlaufen läßt. Doch ist das einfache Abklemmen des Kupferrohres am bequemsten und völlig einwandfrei.

[2] F. Simon und F. Lange, *Zeitschr. f. Physik* **15.** *S. 312. 1923.*

Experimentelle Werte:

Zahlenwerte liegen nicht vor, weil die Metallflaschen wegen der ungenügenden Wirkung der Adsorptionskohle so schlechte Wärmeisolation hatten, daß zu große Mengen flüssigen Wasserstoffs nötig gewesen wären, um die Flaschen abzukühlen und zu füllen. Bezieht man die rechnerisch ohne Berücksichtigung des im Mantelraum vorhandenen Gases genommene Verdampfung auf die ganze Oberfläche der Neusilberwandung, so würde sie im stationären Zustand ungefähr $0{,}016 \cdot 22{,}4 \cdot 10^2 = 36 \frac{g}{st}$ flüssigen Wasserstoffs betragen haben, was auch schon unzulässig viel ist. Die Unbrauchbarkeit der Flasche war also nicht allein auf ungenügende Wirkung der Adsorptionskohle, sondern auch auf zu große Wärmezufuhr durch Strahlung zu schieben.

Versilberte Vakuummantelflasche aus Metall: Äußere Wandung Eisen versilbert, innere Wandung Neusilber versilbert, Oberfläche der Neusilberkugel $O = 22{,}4 \cdot 10^2$ cm².

Bei der Rechnung für die versilberte Neusilberwandung ist der durch Wärmeleitung längs des Halses zugeführte Wärmebetrag gleich dem oben für eine Neusilberhohlkugel ohne galvanischen Überzug berechneten zu setzen, da der Hals nicht versilbert wurde.

a) Füllung mit flüssiger Luft.

Berechnete Werte:

Wärmezufuhr durch Wärmeleitung im Metall: $W_M = \frac{734}{22{,}4 \cdot 10^2} = 0{,}328 \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2\,\text{st}}$,

durch Strahlung im Vakuum: $W_S = 0{,}266 \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2\,\text{st}}$,

also zusammen: $W_M + W_S = 0{,}594 \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2\,\text{st}}$.

Menge verdampfter flüssiger Luft: $\frac{0{,}594}{50} = 0{,}012 \frac{g}{\text{cm}^2\,\text{st}}$.

Experimentelle Werte:

Metallflasche Nr. 51203: Verdampfung $43{,}4 \frac{g}{st}$, also $\frac{43{,}4}{22{,}4 \cdot 10^2} = 0{,}019 \frac{g}{\text{cm}^2\,\text{st}}$,

Metallflasche Nr. 51202: Verdampfung $33{,}0 \frac{g}{st}$, also $\frac{33}{22{,}4 \cdot 10^2} = 0{,}015 \frac{g}{\text{cm}^2\,\text{st}}$.

b) Füllung mit flüssigem Wasserstoff:

Berechnete Werte:

Wärmezufuhr durch Wärmeleitung im Metall: $W_M = \frac{947}{22{,}4 \cdot 10^2} = 0{,}423 \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2\,\text{st}}$,

durch Strahlung im Vakuum: $W_S = 0{,}068 \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2\,\text{st}}$,

also zusammen: $W_M + W_S = 0{,}491 \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2\,\text{st}}$.

Menge verdampften flüssigen Wasserstoffs: $\frac{0{,}491}{107} = 0{,}0046 \frac{g}{\text{cm}^2\,\text{st}}$.

Experimentelle Werte:

Metallflasche Nr. 51203: Verdampfung $15 \frac{g}{st}$, also $\frac{15}{22{,}4 \cdot 10^2} = 0{,}0067 \frac{g}{\text{cm}^2\,\text{st}}$,

Metallflasche Nr. 51202: Verdampfung $18 \frac{g}{st}$, also $\frac{18}{22{,}4 \cdot 10^2} = 0{,}0080 \frac{g}{\text{cm}^2\,\text{st}}$.

Tabelle 18 gibt die Zusammenfassung der Ergebnisse.

Tabelle 18.

| Vakuummantelflaschen aus Metall | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Metallflasche | Ohne Versilberung der Innenflächen | | | | | | | Metallflasche | Mit Versilberung der Innenflächen | | | | | | |
| | Gefüllt mit Liter | Experimentell Verdampfung in $\frac{g}{st}$ | Experimentell Verdampfung in $\frac{g}{cm^2 st}$ | Theoretisch, Wärmemenge, zugeführt durch Strahlung in $\frac{cal}{cm^2 st}$ | Theoretisch, Wärmemenge, zugeführt durch Wärmeleitung im Metall in $\frac{cal}{cm^2 st}$ | Theoretisch, Wärmemenge, zugeführt durch zusammen (Kolonne 5 + 6) in $\frac{cal}{cm^2 st}$ | Theoretisch, Verdampfung in $\frac{g}{cm^2 st}$ | | Gefüllt mit Liter | Experimentell Verdampfung in $\frac{g}{st}$ | Experimentell Verdampfung in $\frac{g}{cm^2 st}$ | Theoretisch, Wärmemenge, zugeführt durch Strahlung in $\frac{cal}{cm^2 st}$ | Theoretisch, Wärmemenge, zugeführt durch Wärmeleitung im Metall in $\frac{cal}{cm^2 st}$ | Theoretisch, Wärmemenge, zugeführt durch zusammen (Kolonne 13 + 14) in $\frac{cal}{cm^2 st}$ | Theoretisch, Verdampfung [g/cm...] |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 1[...] |
| Nr. 51203 | 1,0 fl. L. | 54,5 | 0,024 | 1,32 | 0,328 | 1,65 | 0,033 | Nr. 51203 | 4,8 fl. L. | 43,4 | 0,019 | 0,266 | 0,328 | 0,594 | 0,( |
| | 2,8 fl. L. | 56,0 | 0,025 | 1,32 | 0,328 | 1,65 | 0,033 | | — | — | — | — | — | — | – |
| | fl. $H_2$ | — | — | 1,32 | 0,423 | 1,74 | 0,016 | | 4,0 fl. $H_2$ | 15,0 | 0,0067 | 0,068 | 0,423 | 0,491 | 0,0 |
| Nr. 51202 | 1,1 fl. L. | 50,6 | 0,023 | 1,32 | 0,328 | 1,65 | 0,033 | Nr. 51202 | 3,6 fl. L. | 33,0 | 0,015 | 0,266 | 0,328 | 0,594 | 0,( |
| | 1,5 fl. L. | 51,7 | 0,023 | 1,32 | 0,328 | 1,65 | 0,033 | | — | — | — | — | — | — | – |
| | 5,6 fl. L. | 51,7 | 0,023 | 1,32 | 0,328 | 1,65 | 0,033 | | — | — | — | — | — | — | – |
| | fl. $H_2$ | — | — | 1,32 | 0,423 | 1,74 | 0,016 | | 9,6 fl. $H_2$ | 18,0 | 0,0080 | 0,068 | 0,423 | 0,491 | 0,0 |

Verdampfung von flüssiger Luft (fl. L.) und flüssigem Wasserstoff (fl. $H_2$) und die entsprechenden zugeführten Wärmemengen in Vakuummantelflaschen aus Metall.

Bei den Metallflaschen mit Neusilber und Eisen ohne Versilberung ergeben also Experiment und Berechnung ungefähr denselben Wert. Die kleine Differenz dürfte auf die großen Vernachlässigungen im theoretischen Teil zurückzuführen sein, z. B. auf die Annahme paralleler Flächen.

Durch die Versilberung wird bei Füllung mit flüssiger Luft, wie die Tabelle 18 zeigt, die Verdampfung etwa auf die Hälfte herabgedrückt, wobei wieder Rechnung und Experiment einigermaßen übereinstimmen.

Bei Füllung mit flüssigem Wasserstoff bewirkt die Versilberung, daß die Verdampfung auf mehr als den dritten Teil zurückgeht. Für die versilberten Flaschen ist bei Füllung mit flüssigem Wasserstoff die experimentell gefundene Verdampfung etwa 1,5 mal so groß, wie die theoretisch ermittelte. Will man bei Füllung mit flüssigem Wasserstoff den Unterschied zwischen dem theoretischen und dem experimentellen Wert der Verdampfung darauf schieben, daß praktisch die Zustrahlung nicht soweit herabgesetzt ist, wie bei der Rechnung angenommen wurde, so ergibt sich, daß $\left(\frac{0{,}0067 + 0{,}0080}{2} - 0{,}0040\right) \cdot 107 = 0{,}35 \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2\,\text{st}}$ statt $0{,}068 \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2\,\text{st}}$ durch Strahlung der inneren Hohlkugel zugeführt werden, während diese Größe bei der unversilberten Flasche $1{,}32 \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2\,\text{st}}$ nach der Tabelle beträgt. Danach wäre also die Zustrahlung gegenüber der bei unversilberten Flächen zwar erheblich herabgesetzt, aber nicht auf den 20. Teil, wie es bei idealer Versilberung nach der Rechnung möglich sein sollte. Es erscheint nicht ausgeschlossen, daß es praktisch doch noch nicht gelungen ist, die Silberoberfläche genügend frei von Oxyd oder dergleichen zu erhalten. Daß die Differenz zwischen Theorie und Experiment auf Gasreste im Vakuummantel zurückzuführen sei, ist nach

den auf S. 136 aufgeführten Versuchen sehr unwahrscheinlich, da durch die benutzte Adsorptionskohle sowohl Luft wie Wasserstoff, der auch von den Metallwänden in geringer Menge abgegeben werden könnte, weitgehend adsorbiert wird, und da jedenfalls gleich nach dem Abnehmen der Flasche von der Pumpapparatur die vorhandenen Gasdrucke sehr klein sein müssen. Für einen Druck von $1 \cdot 10^{-6}$ mm Hg wird die durch die Gasreste übertragene Wärme nach 14) kleiner als $0{,}05 \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2\,\text{st}}$.

Demnach dürfte es möglich sein, die Verdampfung durch bessere Ausführung der Versilberung noch etwas weiter herabzusetzen. Besonders wäre dies dann von Bedeutung, wenn es gelingen sollte, durch andere Ausführung des Flaschenhalses die Wärmezufuhr durch metallische Leitung, die jetzt bei Füllung mit flüssigem Wasserstoff den Hauptteil der Wärmezufuhr ausmacht, herabzusetzen, da nach der Rechnung bei vollkommener Versilberung die Strahlungsverluste auf einen Betrag herabgedrückt werden können, der praktisch nahezu ohne Bedeutung ist. Die Anwendung der Wienerschen Methode einer Zwischenwand, die praktisch nicht einfach durchzuführen ist, ist jedenfalls bei genügend guter Ausführung der Versilberung nicht notwendig[1].

Zum Schluß sei noch darauf verwiesen, daß im Kältelaboratorium der Reichsanstalt auch zylindrische Vakuummantelgefäße[2] aus Metall für flüssige Luft und flüssigen Wasserstoff verwendet werden, wobei die innere Wandung aus dünnem Neusilberblech hergestellt ist. Nach den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchungen ist es zweckmäßig, den unteren Teil der Innenwandungen auch bei diesen zylindrischen Gefäßen zu versilbern.

Der Notgemeinschaft der deutschen Wissenschaft sind wir für die Unterstützung der Arbeit zu großem Danke verpflichtet.

Kältelaboratorium der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, Berlin-Charlottenburg. Oktober 1929.

# Kurventachymeter.

Von
Dr. Ing. **O. Strohschneider** in Graz.

Die Auswertung von Entfernung und Höhe bei tachymetrischen Aufnahmen führt — neben der zeitraubenden Ausarbeitung mittels Tafelwerk oder Tachymeterschieber — zu verschiedenen mechanischen Vorrichtungen, die auf logarithmischer Grundlage aufgebaut sind.

Eine rein graphische Lösung dieser Aufgabe ergibt folgende Art einer mechanischen Funktionsauswertung:

Auf einer Kreisscheibe $K$ (Abb. 1) sei zentral ein Dreharm $D$ angeordnet, auf dem sich ein Zeiger $Z$ verschieben läßt.

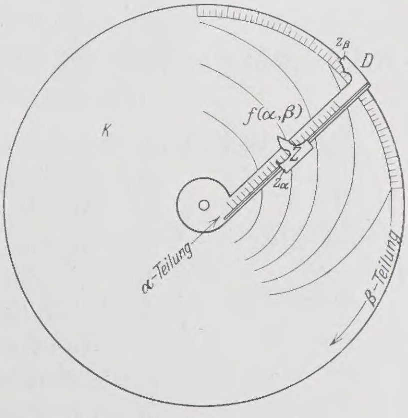



Abb. 1.

Ist irgendein Funktionswert $f(\alpha, \beta)$ zu ermitteln, so kann für jedes $\beta$ durch Verstellen des Zeigers $z_\beta$ am Scheibenrande, der Arm in eine bestimmte Lage gebracht werden und für jedes $\alpha$ bei

[1] Vgl. Banneitz, Rhein u. Kurze, *Ann. d. Phys.* **61.** *S. 113. 1920.*

[2] W. Meißner, Handb. d. Physik v. H. Geiger u. K. Scheel, Bd. XI, Kap. VII, S. 333.

dieser Armstellung mittels des Zeigers $z_\alpha$ ein bestimmter Punktwert $f(\alpha, \beta)$ der Kreisfläche festgelegt werden.

Verbindet man derartige gleichwertige Punkte durch Kurven, so kann an diesen bzw. im Einschätzungswege zwischen diesen eine Wertablesung der Funktion $f(\alpha, \beta)$ durchgeführt werden. Dabei ist es vollkommen gleichgültig, durch welche Rechenarten die beiden Einzelwerte verbunden sind.

Es ist ebenso einerlei, in welcher Art die beiden $\alpha$- und $\beta$-Werte aufgetragen werden, so daß man auch von bestimmten Kurven ausgehen könnte und dann von dieser Annahme die Einstellteilung ableiten müßte.

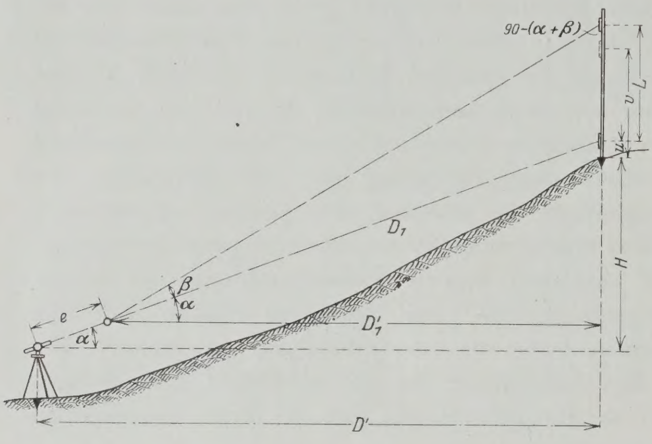


Abb. 2.

Sind die Werte $\alpha$ und $\beta$ selbst Abhängige aus einem Ermittlungsverfahren, so kann diese Arm- und Zeigereinstellung auch auf mechanischem Wege erfolgen.

Eine solche Durchbildung führt zu einem rein mechanisch arbeitenden Kurventachymeter, auf dem ohne jede Zwischenablesung Entfernung und Höhe in bezug auf die Instrumentenmitte abgelesen werden kann.

Als veränderlich ist der Winkel zu zwei in festem Abstande befindlichen Punkten am Ziele eingeführt.

In Abb. 2 ist die Zielentfernung vom Brennpunkte der Gegenstandslinse

$$D_1 = L \frac{\cos(\alpha + \beta)}{\sin\beta} = L \cdot (\cos\alpha \operatorname{cotg}\beta - \sin\alpha)$$

und daher deren Horizontalprojektion:

$$D_1' = D_1 \cos\alpha = L \cdot (\cos^2\alpha \operatorname{cotg}\beta - \sin\alpha\cos\alpha).$$

Damit ist die gesamte Horizontalentfernung gegeben durch:

$$D' = L \cdot (\cos^2\alpha \operatorname{cotg}\beta - \sin\alpha\cos\alpha) + e \cdot \cos\alpha \qquad 1)$$

und die Höhe in bezug auf den Instrumentenhorizont durch:

$$H = L\,(\sin\alpha\cos\alpha \operatorname{cotg}\beta - \sin^2\alpha) + e \cdot \sin\alpha - u. \qquad 2)$$

Zur Auswertung dieser beiden Gleichungen 1) und 2) sind somit die Werte $\alpha$ und $\beta$ maßgebend.

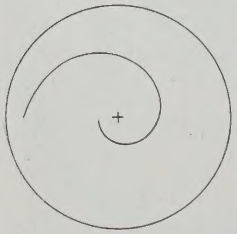


Abb. 3.

Der Winkel $\alpha$ ist ein Neigungswinkel, somit aus der Messung ohne weiteres gegeben und auch auf mechanischem Wege verwertbar. Er wird im Sinne der graphischen Auswertung nach Abb. 1 durch Einstellen des Armzeigers $Z$ behandelt werden.

Der Winkel $\beta$ gibt ein Maß für die scheinbare Länge des festen Lattenabstandes $L$. Zur Festlegung und mechanischen Auswertung dieses Maßes ist hier folgender Weg eingeschlagen: Auf der Fadenebene des Fernrohres liegt außer der Mittelpunktsmarke eine Spirallinie (Abb. 3), welche drehbar ist, so daß sie derart eingestellt werden kann, daß bei Übereinstimmung einer unteren Zielscheibe mit der Mittelpunktsmarke, eine obere

Zielscheibe durch die Spirale geschnitten wird. — Die für eine derartige Einspielung notwendige Drehung der Fadenplatte legt die scheinbare Länge der Latte bzw. einen abhängigen Wert von $\beta$ durch einen Drehungswinkel fest, und gibt daher ein Maß — bzw. hier eine mechanische Übertragungsmöglichkeit — für eine abhängige Größe des Winkelwertes $\beta$.

Die Drehung der Fadenplatte erfolgt durch Verdrehen des gesamten Fernrohres um seine Kollimationsachse. Mit dem Fernrohre starr verbunden ist eine Kreisscheibe $d$ (Abb. 4). Es ist somit mechanisch die Auftragung eines jeden $\beta$-Wertes im Sinne der Abb. 1 ermöglicht mit dem einzigen Unterschiede, daß hier statt eines beweglichen

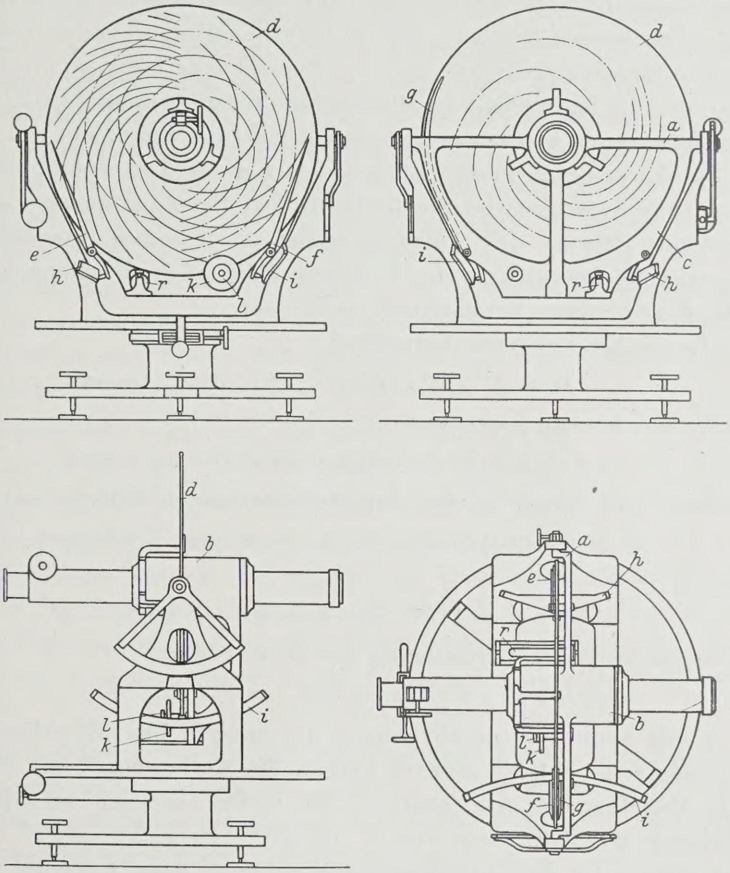



Abb. 4.

)reharmes auf fester Scheibe, diese selbst drehbar ist. — Der jetzt als fest anzu-ıehmende Dreharm ist durch einen ortgebundenen Kreisbogen ersetzt, welchen ein 'eiger $f$ (hier für die weitere Durchbildung auch noch je ein Zeiger $e$ und $g$) beschreibt.

Der entsprechende Zeiger soll nun den Wert $\alpha$ zur mechanischen Umwertung inbeziehen; er ist aus diesem Grunde auf einem mit der Kurvenscheibe um die Hori-ontalachse $a$ wohl mit verschwenkbaren, aber nicht mit verdrehbaren Rahmenstück $c$ elenkt und mit seiner unteren Fortsetzung durch Federdruck an ein Gleitstück $i$ (hier uch noch $h$) gedrückt, das am Instrumentengestell festliegt. Bei Verschwenkung des 'ernrohres wird dadurch die obere Spitze des Zeigers auf der verfügbaren Scheiben-iälfte verschoben; jedem Neigungswinkel $\alpha$ entspricht somit eine bestimmte Zeiger-

stellung. Die Einstellung dieses Wertes ist also mechanisch durchgeführt, und die Funktionswerte $f(\alpha, \beta)$ nach den Gleichungen 1) und 2) können graphisch auf der Scheibe durch Kurven dargestellt werden.

Wenn auch theoretisch ein Zeiger für beide Wertlesungen genügen würde, so ergeben sich hier jedoch praktisch ungünstige Kurvenverschneidungen der beiden Funktionswerte; außerdem wurde hier die Höhenablesung für geringere Neigungen (bis $20^0$) auf der einen Seite, für größere auf der anderen Seite der Kreisscheibe angeordnet (Zeiger $g$).

## Einzelheiten des abgebildeten Instrumentes.

Die spiralförmige Diaphragmakurve der Fadenebene schneidet die obere Zielscheibe nach einem gleichbleibenden Winkel. Die Zielscheibe ist daher auch diesem Winkel entsprechend schräg gekreuzt (Abb. 5). Bei einem Verhältnisse 1 : 5 der kleinsten Entfernung der Spirallinie vom Mittelpunkte zur größten ergibt sich unter obiger Voraussetzung ein konstanter Tangentenwinkel der Spirallinie von $\tau = 14^0\,30'$.

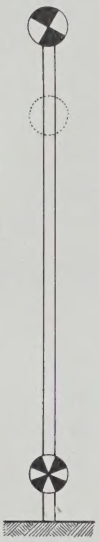


Abb. 5.

Für kurze Entfernungen ist statt einer großen Lattenentfernung von 2 m mittels einer Zwischenzielmarke der fünfte Teil dieser Lattenlänge als Meßlänge zu nehmen (40 cm). Die Ablesung erfolgt an denselben, aus diesem Grunde doppelt bezeichneten Kurven. In diesem Falle ist einer Teilung der Führungsstücke $h$ und $i$ eine Berichtigung zu entnehmen:

Es ist für das große Lattenmaß

$$D' = L \cdot (\cos^2\alpha \operatorname{cotg}\beta - \sin\alpha\cos\alpha) + e \cdot \cos\alpha$$

und für das kleine Lattenmaß

$$d' = L/5 \cdot (\cos^2\alpha \operatorname{cotg}\beta - \sin\alpha\cos\alpha) + e \cdot \cos\alpha\,.$$

Abgelesen wird jedoch an den doppelt bezeichneten Kurven statt $d'$

$$D'/5 = L/5 \cdot (\cos^2\alpha \operatorname{cotg}\beta - \sin\alpha\cos\alpha) + e/5 \cdot \cos\alpha\,,$$

somit ist:

$$d' = D'/5 + 4/5\, e \cdot \cos\alpha = D'/5 + z\,.$$

Ebenso ergibt sich eine Berichtigung der Höhen durch:

$$h' = H/5 + 4/5\, e \cdot \sin\alpha + u/5 - v = H/5 - y\,.$$

(Hierin sind $u$ und $v$ die Bodenentfernungen der unteren bzw. Zwischen-Zielscheibe.)

Die Kurvenscheibe enthält in zwei Farben die Entfernungs- und Höhenkurven. Erstere (in der Abbildung voll gezeichnet) werden rechts abgelesen am Zeiger $f$, dessen Spitze bei Neigung des Fernrohres von $0^0$ bis $40^0$ von rechts gegen die Mitte zu wandert. Auf letztere (in der Abbildung strichpunktiert) weist links der Zeiger $e$, der sich bei einer Neigung bis $20^0$ von links gegen die Mitte bewegt und bei weiterer Neigung in einer inneren Randstellung verweilt. Höhenablesungen bei Neigungswinkeln über $20^0$ (Ausnahmefälle) werden auf der rückwertigen Seite der Kurvenscheibe durch einen Gegenzeiger $g$ des vorderen Entfernungszeigers $f$ ermittelt. Die Führung dieses Entfernungszeigers, die längs eines Bogenstückes $i$ erfolgt, verschwenkt die Zeigerspitze innerhalb der ersten $20^0$ verhältnismäßig wenig, so daß noch ein Großteil der Scheibenfläche für den Ausschlag zwischen $20^0$ und $40^0$ verfügbar und daher zur Auswertung der in diesen Bereich fallenden Höhenkurven verwertet ist.

In den Abbildungen sind die Hauptkurven eingezeichnet und alle Zwischenkurven weggelassen.

Die Aufstellung und allgemeine Bedienung des Instrumentes erfolgt nach bekannten Grundsätzen; die Fernrohrlibelle $r$ ist am Rahmenstück $c$ angeordnet.

Zielpunkt ist die untere Zielscheibe (bzw. Zwischenscheibe). Durch Drehen der Kurvenscheibe $d$ bei gelüfteter Klemmschraube $l$ mittels Fingergriff am Scheibenrand, wird die Spirallinie des Diaphragmas durch die obere Scheibe gelegt und nach Festklemmen durch $l$ mittels der Feinstellschraube $k$ zur genauen Kreuzung gebracht, worauf die Ablesung von Entfernung und Höhe an den betreffenden Zeigern erfolgen kann. Bei Verwendung der Zwischenmarke wird noch das Berichtigungsmaß an der Zeigerstellung am Gleitstücke berücksichtigt.

Die Genauigkeit der Messung hängt ab von der Einstellung und von der Ablesung.

Die Einstellung kann — da der Tangentenwert der Diaphragmakurve konstant ist, also die Kreuzmarke stets halbiert — mit der doppelten Genauigkeit erfolgen, wie bei den gebräuchlichen Lattenablesungen: Soweit die optischen Verhältnisse für letztere eine Einschätzung der Millimeter zulassen, also bei einer Konstanten $C = 100$ die Dezimeter schätzungsweise ergeben, kann man diese hier noch als scharf einstellbar betrachten, so daß also der Einstellfehler bis zu dem genannten optischen Grenzfalle 10 cm nicht überschreitet. Die Einstellung erfolgt durch Drehen der Kurvenscheibe (und damit des Fernrohres) mittels Feinstellvorrichtung. Eine Diaphragmalinie mit dem Verhältnisse 1 : 5 ergibt für eine Messung nahe dem kleinsten Radius, d. h. für die größte Entfernung, bei einer Lattenlänge von 2 m für eine Drehung der Spirale um ihren Mittelpunkt um $1^0$ eine Änderung der Lattenlänge um 9 mm, somit selbst bei einer Grenzgenauigkeit der Einstellung von $15'$ in diesem äußersten Falle eine Einstellmöglichkeit auf 2 mm, also mindestens jene Einstellmöglichkeit, welche der unteren Zielscheibe zukommt.

Der Ablesefehler hängt von der Größe der Kurvenscheibe und von der Anordnung der Kurven selbst ab. Letztere wieder sind abhängig von der Diaphragmakurve, von der Maximalgröße des Neigungswinkels $\alpha$ und von der Art der Zeigerführung.

Eine fehlerfreie mechanische Anordnung der Zeigerführung ist nur bei Verwendung einfacher Gleitstücke möglich: Es ist für den Höhenzeiger bis $20^0$ (vordere Kurvenscheibe) eine ebene Führung durch ein Kantstück $h$ vorgesehen (Ebenen-Bruch für Höhen- und Tiefenwinkel) und für den Entfernungszeiger (vorne) und den Höhenzeiger für $20^0$ bis $40^0$ (auf der Rückseite) ein Kreisbogenstück $i$ (Halbmesser $R = 180$ mm) verwendet.

Die Kurvenauftragung für die Längenmessung beginnt im vorliegenden Falle für eine Entfernung von 6 m und reicht bis 250 m. Die Entfernungen 6 m bis 30 m werden mit der Zwischen-Zielscheibe festgelegt, für welche also $l = 40$ cm beträgt. Die Entfernungen 30 m bis 50 m können sowohl mit $l = 40$ cm als auch mit $L = 2$ m (Hauptscheibenentfernung) ermittelt werden. Entfernungen über 50 m werden nur an den Hauptscheiben gemessen.

Die Kurven laufen — wie die Abbildungen zeigen — nicht parallel; es sind daher auch die Ablesemöglichkeiten verschieden.

Die in der Abbildung gezeigten Hauptkurven geben mit den Hauptzielscheiben Entfernungswerte von 10 zu 10 m und mit der Zwischenzielscheibe solche von 2 zu 2 m. Im letzteren Falle ist stets noch die am Gleitstück abzulesende Berichtigungsgröße zu berücksichtigen.

Ist eine Ablesemöglichkeit mit Zwischenkurven bzw. durch Einschätzung auf 0,5 mm angenommen, so ergeben sich für die Entfernungsbestimmung folgende Ablesemöglichkeiten:

| Hauptkurven für Entfernungen von | Kleinster Kurvenabstand | Daher Ablesemöglichkeit in Längen | in Prozenten |
|---|---|---|---|
| 30— 40 m | 20 mm | 10 m/40 = 25 cm | 0,83 |
| (6— 8 m) | | 2 m/40 = 5 cm | „ |
| 150—160 m | 7 mm | 10 m/14 = 71 cm | 0,47 |
| (30— 32 m) | | 2 m/14 = 13,3 cm | „ |
| 240—250 m | 4 mm | 10 m/8 = 1,25 m | 0,52 |
| (48— 50 m) | | 2 m/8 = 0,25 m | „ |

Die Höhenkurven auf der Vorderseite der Kurvenscheibe, also bis zu einer Neigung von 20° ergeben:

| Bei einer Entfernung von | Kurvenabstand für 10 zu 10 m | Daher Ablesemöglichkeit der Höhen | in °/₀ d. Entf. |
|---|---|---|---|
| 50 m (10 m) | 25 mm | 10/50 = 20 cm (4 cm) | 0,4 |
| 150 m (30 m) | 10 mm | 10/20 = 50 cm (10 cm) | 0,33 |
| 250 m (50 m) | 5 mm | 10/10 = 1 cm (20 cm) | 0,4 |

Die Ablesungen der Ergänzungswerte von 20° bis 40° auf der Rückseite ergeben ähnliche Verhältnisse.

Schränkt man den Wirkungsbereich nach größter Entfernung und Neigung ein — was für kleine Tachymeter sicher am Platze ist (z. B. Entfernungen bis 150 m und Neigungen bis 30°) — so können bei gleicher Instrumentengröße die Genauigkeiten wesentlich gesteigert werden.

### Instrumentenberichtigung.

Außer den allgemeinen Berichtigungen eines Theodoliten mit festem Fernrohre sind hier noch drei Prüfungen bzw. Berichtigungen durchzuführen:

1. Einstellung der Kollimationsachse in die Drehachse der Fernrohrbüchse *b* (mit je 3 Berichtigungsschrauben an den beiden Büchsenenden), nachdem vorerst die Kollimationsachse senkrecht auf die Horizontalachse gestellt wurde.

2. Einstellen der Kurvenscheibe in senkrechte und zentrale Lage zur Drehachse.

3. Einstellen der Zeiger und ihrer Gleitstücke (Zeigerachse im Rahmenstück *c* fest gelagert, daher nur Zeigerlänge selbst zu berücksichtigen). Gleitstück ist auf Übereinstimmung von Höhen- und Tiefenmessung bei gleichen Winkeln zu prüfen und an seinen Befestigungsschrauben am Fernrohrlagergestell zu berichtigen.

Vorteile des Instrumentes: Rasches Arbeiten, unmittelbare und endgültige Ablesung des Meßergebnisses in einer Art, die auch beim Mindergeübten eine Irrung kaum befürchten läßt.

Die Genauigkeit erreicht — ein fehlerfreies Instrument vorausgesetzt — jene der gebräuchlichen entfernungsmessenden Instrumente mit Querfäden, die Schnelligkeit und Sicherheit übertrifft diese bedeutend.

---

# Einige Beleuchtungseinrichtungen für das Saitengalvanometer.

Von
**A. Köhler** in Jena.

Die Saite des Saitengalvanometers wird durch ein Mikroskop stark vergrößert zur subjektiven Beobachtung meist auf einen Schirm, zur Registrierung der Ausschläge aber auf eine photographische Platte oder häufiger auf lichtempfindliches Papier abgebildet. In diesem Falle wird zur Erhöhung der Beleuchtungsstärke auf dem lichtempfindlichen Papier noch in geringem Abstand vor diesem ein aus Zylinderlinsen

bestehendes Hilfssystem angebracht, von dessen Wirkung hier aber nicht die Rede sein soll.

Das Projektionsmikroskop besteht bei den größeren Instrumenten aus einem apochromatischen Trockensystem von größerer oder kleinerer Apertur und einem Projektionsokular. Bei der geringen Größe des Ausschlags, der registriert werden soll kommen die Bildfehler außer der Achse, die dieser Zusammenstellung eigen sind, nicht in Betracht.

Von den normalen Objektiven unterscheiden sich die für das Saitengalvanometer bestimmten einmal durch die Art der Fassung: deren Durchmesser ist so klein und deren Länge so groß gewählt, daß sie mit genügendem Spielraum in die Bohrungen der Polschuhe eingeführt werden können, die ja mit Rücksicht auf das magnetische Feld so eng gehalten werden, als es möglich ist.

Ist die Saite frei in dem magnetischen Feld aufgehängt und nicht zwischen Glasplättchen eingeschlossen, dann können beliebig starke Trockensysteme benutzt werden, jedoch müssen solche von größerer Apertur — über 0,3 bis 0,4 — für unbedeckte Objekte korrigiert sein. Denn sie bilden ja die Saite selbst — oder deren Schatten — ab, nicht deren Bild, das durch ein als planparallele Platte wirkendes Deckglas entworfen ist: dieses vom Deckglas entworfene Bild weist zwar natürliche Größe, aber eine mit zunehmender Apertur sehr rasch anwachsende sphärische Überkorrektion auf. Es ist leicht einzusehen, daß das Objektiv in diesem Falle für sich möglichst vollkommen korrigiert sein muß, während es in jenem für sich allein mit Absicht so stark unterkorrigiert werden muß, daß die Überkorrektion, die durch das Deckglas hervorgerufen ist, gerade aufgehoben wird.

Ist die Saite dagegen zwischen zwei Glasplättchen eingeschlossen, deren Dicke und Brechzahl mit denen der gebräuchlichen mikroskopischen Deckgläschen übereinstimmen, dann müssen die Systeme auch für normale Deckglasdicke (etwa 0,17 mm) korrigiert sein. Voraussetzung ist jedoch, daß der Abstand der Saite von der ihr zugekehrten Fläche des Deckglases merklich kleiner ist als der „freie Objektabstand“ des Objektivs. Darunter ist der Abstand *ab* (Abb. 1) des untersten Randes der Objektivfassung *a* von der Oberfläche des Deckglases *b* verstanden, wenn das Objektiv auf ein die Unterfläche *c* des Deckglases unmittelbar berührendes Objekt eingestellt ist. Denn es ist klar, daß andernfalls der Abstand zwischen Fassungsrand *a* und Deckglasoberfläche *b* — falls das Objekt scharf eingestellt werden soll — immer um den gleichen Betrag abnimmt, um den der Abstand des Objekts — hier der Saite — von der Deckglasunterfläche *c* zunimmt. Dabei ist beiderseits des Deckglases dasselbe Mittel (Luft, $n = 1$) vorausgesetzt. Der unbedingt nötige Spielraum zum Einstellen des Mikroskops kann daher nur vorhanden sein, wenn der Abstand zwischen der Saite und der Unterfläche des Deckglases merklich kleiner ist als der freie Objektabstand. Es folgt weiter daraus, daß starke Systeme mit kleinem Objektabstand in diesem Falle überhaupt nicht gut mit Deckgläsern verwandt werden können, denn es wäre ganz unzweckmäßig, den an sich schon so kleinen Objektabstand noch auf zwei Hälften, auf beide Seiten des Deckglases, zu verteilen.

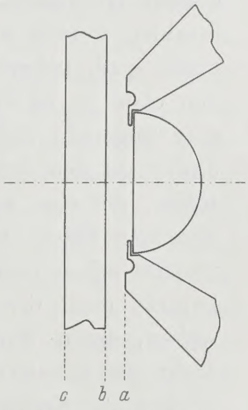



Abb. 1. Der „freie“ Objektabstand eines Mikroskopobjektivs. Schema. *ab* „freier“ Objektabstand; *bc* Deckglasdicke.

Systeme, die für unbedeckte Objekte korrigiert sind, haben etwa denselben freien Objektabstand wie die für normale Deckglasdicke korrigierten. Der Objektabstand ist

in diesem Falle zwischen der Einstellebene, dem Objekt, und der Unterfläche *a* der Objektivfassung zu messen, und dieser Abstand steht fast ganz für den Einstellspielraum zur Verfügung.

Unter Umständen wären auch noch dickere Deckgläser zulässig, es müßten nur die empfindlicheren Objektive dafür besonders korrigiert sein. Das ist auch noch bei mittleren Aperturen möglich; man hat z. B. gelegentlich für Blutkörperzählkammern, die etwa 0,4 mm dicke Deckgläser erfordern, solche Systeme mit Aperturen von 0,65 hergestellt.

Je dicker aber das Deckglas wird, desto höher steigen die Anforderungen an die Beschaffenheit des Glases und der beiden Flächen, wenn die Bildgüte nicht leiden soll. Es müssen die Flächen dann auch möglichst genau senkrecht zur Achse des Mikroskops stehen.

Systeme von kleiner Apertur, z. B. 0,2, sind gegen die Dicke der Deckgläser kaum mehr empfindlich, wenn sie innerhalb der oben genannten Grenzen schwankt.

Der Erbauer von Saitengalvanometern muß auf diese optischen Verhältnisse bei der Anordnung der Saite gebührend Rücksicht nehmen, andernfalls schränkt er von vornherein den Bereich der Vergrößerungen, die noch nutzbar gemacht werden können, erheblich ein.

Wie bei jeder Projektion oder photographischen Aufnahme mit dem Mikroskop kommt es darauf an, daß das Schattenbild der Saite möglichst dunkel auf dem hellen Grunde erscheint, in dem photographischen Negativ also möglichst hell auf dem sonst geschwärzten lichtempfindlichen Papier. Die Abbildung derartiger zylinderförmiger Objekte, wie die Saite eines ist, habe ich an anderer Stelle behandelt[1], soweit als das mit Hilfe der geometrischen Optik möglich ist. Danach müßten, wenigstens unter bestimmten Beleuchtungsverhältnissen, größere oder kleinere Teile der Saite völlig dunkel erscheinen. In Wirklichkeit ist das aber nicht der Fall. Die abbildenden Strahlen werden an den Oberflächen der Linsen, insbesondere soweit sie nicht verkittet sind, teilweise zurückgeworfen. Dieses Licht beleuchtet das Objekt zum Teil von oben — es sind das die Strahlen, die einmal zurückgeworfen worden sind oder eine ungerade Zahl von Reflexionen erfahren haben — zum Teil aber gelangt es direkt auf den Schirm — das sind die zweimal reflektierten Strahlen oder überhaupt solche, die eine gerade Zahl von Reflexionen erfahren haben. Wenn auch an jeder einzelnen Fläche nur etwa $4\,^0/_0$ des Lichtes zurückgeworfen werden, so daß die Intensität schon nach zwei Reflexionen auf $(0{,}04)^2$ oder 0,0016, d. h. $1{,}6\,^0/_{00}$ sinkt, so bewirkt doch der Umstand, daß starke Systeme bis zu acht solcher Flächen aufweisen, deren Wirkungen sich bis zu einem gewissen Grade verstärken, daß dieses Licht die Schatten des Bildes merkbar aufzuhellen vermag. Das ist eine sehr unerwünschte Erscheinung, jedoch lehrt die Erfahrung, daß die Anordnung des Beleuchtungsapparates die Stärke dieses Nebenlichtes weitgehend beeinflussen kann.

Wie jedes Mikroskop, bedarf auch das Mikroskop des Saitengalvanometers eines Kondensors. Dessen Dimensionen müssen denselben Bedingungen genügen wie die des Mikroskopobjektivs, weil die Bohrungen in den beiden Polschuhen zweckmäßig gleich gemacht werden. Man verwendet daher, wie man das gelegentlich auch bei dem mikrophotographischen Apparat zu tun pflegt, Mikroskopobjektive an Stelle eines Kondensorsystems. Da an die Strahlenvereinigung nicht ganz so hohe Ansprüche

---

[1] A. Köhler, Die Abbildung einer Walze durch Systeme von großer Apertur. *Zentralztg. für Opt. u. Mech.* ***49.*** *S. 89—92. 1928.*

gestellt zu werden brauchen, genügen hier Achromate. Da ferner nur Hellfeldbeleuchtung mit geradem Licht in Betracht kommt, wählt man als Beleuchtungsobjektiv immer ein solches, dessen numerische Apertur der des Objektivs des Beobachtungsmikroskops gleich ist oder ein wenig kleiner. Man kann dann das Objekt, die Saite, mit Strahlenkegeln beleuchten, deren Apertur derjenigen des Abbildungssystems etwa gleichkommt; durch passende Abblendung (vgl. S. 151) kann man die Apertur der Beleuchtungskegel auch nach Belieben vermindern.

Bei den größeren Instrumenten pflegt dieses Beleuchtungsobjektiv ebenfalls an einem einstellbaren Mikroskoptubus angeschraubt zu werden, so daß Beleuchtungssystem und Abbildungssystem — vom Okular zunächst abgesehen, zwei in bezug auf die Einstellebene — die Schwingungsebene der Saite — symmetrisch angeordnete Mikroskope darstellen. Aperturblende des Beleuchtungsapparats — entsprechend der Irisblende des Mikroskopkondensors — ist die Iris des Beleuchtungsobjektivs. Das Bild dieser Iris, das bei normalem Gebrauch dieses Objektivs Eintrittspupille wäre, ist nun, bei dem umgekehrten Strahlengang, Austrittspupille, genau so wie es bei dem gewöhnlichen Mikroskop das vom Kondensorsystem entworfene Bild der Kondensoririsblende ist.

Eine Symmetrie des optischen Apparats im strengen Sinne wäre allerdings nur dann vorhanden, wenn Beleuchtungs- und Abbildungsobjektiv gleich wären und wenn bei beiden Systemen die Iris am Ort des entsprechenden Brennpunkts läge. Die Austrittspupille des Beleuchtungssystems und die Eintrittspupille des Abbildungssystems fielen dann im Unendlichen zusammen. Dieselbe Lage der Pupillen wäre auch bei einer hemisymmetrischen Anordnung vorhanden, d. h. dann, wenn beide Systeme ähnlichen Bau, aber verschiedene Brennweite hätten.

Bei dieser Lage der Pupillen wird, wie eine einfache Überlegung zeigt, das Leuchtfeld in seiner ganzen Ausdehnung von Strahlenkegeln gleicher Apertur getroffen, deren Achsen überall, an allen Flächenelementen des Leuchtfelds, gleiche Richtung haben; bei Beleuchtung mit geradem Licht wären also diese Achsen überall senkrecht zur Einstellebene. Von dem Abbildungsobjektiv aber würden alle diese Strahlenkegel in gleicher Weise durchgelassen oder von dessen Iris in gleicher Weise begrenzt. Diese Bedingung muß auch in der Tat dann erfüllt sein, wenn Verlauf und Begrenzung der beleuchtenden und abbildenden Strahlenkegel innerhalb des ganzen Sehfeldes, also in unserem Falle bei allen Ausschlägen der Saite, gleich sein sollen, so daß die Abbildung der Saite überall unter genau denselben Bedingungen, bei derselben Strahlenbegrenzung, stattfindet. Das ist aber, wie an der auf S. 148 angezogenen Stelle näher erläutert ist, wichtig. In der Praxis genügt es jedoch vollkommen, wenn die Abstände der Austrittspupille des Beleuchtungsobjektivs und der Eintrittspupille des Abbildungsobjektivs von der Einstellebene beide groß sind gegenüber den Ausschlägen der Saite. Da diese aber immer sehr klein bleiben, so brauchen die Pupillen — genauer deren Ränder — weder im Unendlichen, noch überhaupt in gleichem Abstand von der Einstellebene zu liegen, und dennoch behält der Verlauf und die Begrenzung der Strahlenkegel im wesentlichen alle die oben geschilderten Eigenschaften, die eine gleichmäßige Abbildung der Saite bei allen in Frage kommenden Ausschlägen gewährleisten.

Da nun aber überhaupt bei dem zusammengesetzten Mikroskop in seiner typischen Form der Sehfelddurchmesser auf einen Bruchteil der Objektivbrennweite und des Durchmessers der Eintrittspupille beschränkt bleibt — abgesehen von den allerschwächsten Objektiven, die auch in anderer Hinsicht eine besondere Stellung ein-

nehmen — so folgt aus den bisherigen Betrachtungen, daß man allgemein für die Darstellung der Strahlenbegrenzung den Mikroskopkondensor als ein Mikroskopobjektiv ansehen kann, bei dem Objekt- und Bildebene vertauscht sind. Der Vergleich mit einem Mikroskopokular ist jedenfalls völlig abwegig. Für die erste auf Abbe zurückgehende Auffassung spricht auch die Tatsache, daß man grundsätzlich Mikroskopkondensoren nach ähnlichen Konstruktionstypen baut, wie Mikroskopobjektive — natürlich unter Berücksichtigung der außerordentlich verschiedenen Ansprüche, die die Praxis an den Grad der Strahlenvereinigung stellt — und daß man auch vielfach mit bestem Erfolg seit langem gewisse stärkere Mikroskopobjektive als Kondensoren benutzt.

Anders liegen die Verhältnisse nur bei den ganz schwachen Objektiven, wo der Durchmesser des Sehfeldes nicht mehr klein ist im Vergleich zur Brennweite, und wo er den Durchmesser der Eintrittspupille sogar häufig übertrifft. Da sind als Kondensor oder als Teil des Kondensorsystems Linsen erforderlich, die sich in ihrer Wirkung wenigstens mit einem Teil eines Okulars — dem Kollektiv — vergleichen lassen. Solche Systeme kommen aber im vorliegenden Falle nicht in Betracht.

Hat der Tubus des Beleuchtungsmikroskops normale Länge — z. B. 160 mm — so entwirft das Beleuchtungsobjektiv nahe an der Einstellebene ein sehr scharfes verkleinertes Bild der oberen Tubusöffnung. Wäre sie in ihrer ganzen Ausdehnung in geeigneter Weise gleichmäßig beleuchtet, so wäre diese obere Tubusöffnung des Beleuchtungsmikroskops Leuchtfeldblende und deren verkleinertes Bildchen wäre das Leuchtfeld, in dem die Saite schwingt. Bei denjenigen Objektiven, bei welchen, wie bei den Systemen der Zeissischen Werkstätte, die Einzelvergrößerung angegeben ist, gibt diese Einzelvergrößerung auch — wenigstens annähernd — an, wievielmal das Leuchtfeld gegenüber der Leuchtfeldblende selbst, d. h. der oberen Tubusöffnung, verkleinert ist.

Der Durchmesser des Leuchtfeldes würde nun so den Durchmesser des Sehfeldes, das das Abbildungsmikroskop in Verbindung mit dem Projektionsokular abbildet, vor allem aber auch die Amplitude der Saitenschwingungen, die nur die Mitte dieses Sehfeldes einnimmt, beträchtlich überschreiten. Ferner ist es, um die Ausschläge zu erkennen, nicht notwendig, das ganze, kreisrunde Sehfeld (Abb. 2) zu beleuchten, sondern es genügt vollkommen, wenn das Leuchtfeld die Gestalt eines Spaltes, wie *Sp*, besitzt, der senkrecht zur Saite *SS* gerichtet ist. Man kann ein solches Leuchtfeld sehr einfach durch eine passende spaltförmige Blende erzielen, die man in geeigneter Weise an der oberen Tubusöffnung des Beleuchtungsmikroskops anbringt, und die durch dessen Objektiv verkleinert in die Einstellebene abgebildet wird. Das Abbildungsmikroskop bildet dann Spaltbild *Sp* und Saite *SS* beide zusammen vergrößert auf den Schirm oder auf die obengenannte Zylinderlinse des Registrierapparats ab. In diesem Falle genügt es vollkommen, wenn der Spalt so groß ist, daß sein Bild die freie Öffnung jener Zylinderlinse vollkommen deckt, also etwas länger und etwas breiter ist als diese. Entsprechende Größenverhältnisse gelten dann natürlich auch für die Projektion.

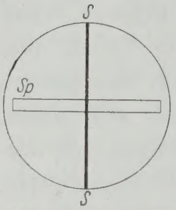



Abb. 2. Sehfeld und Leuchtfeld des Mikroskops. Schema. *SS* im Sehfeld sichtbares Stück der Saite; *Sp* spaltförmiges Leuchtfeld.

Diese Beschränkung der Größe des Leuchtfeldes bedeutet nicht nur eine Ersparnis an Licht, sondern sie bietet den meist weit wichtigeren Vorteil, daß die oben besprochene Verschleierung des Bildes durch partiell reflektiertes Licht wesentlich vermindert wird, ohne daß die Helligkeit des eigentlichen Bildes herabgesetzt wird.

Das erklärt sich folgendermaßen: Wie die Linsen des Abbildungsobjektivs durch ihre Brechungswirkung nahe am Okular das Bild der Leuchtfeldblende und der Saite, sowie an einer anderen Stelle, meist nahe am Objektiv, ein Bild der Austrittspupille des Beleuchtungsobjektivs erzeugen, das nach Abbe als stellvertretende Austrittspupille des Abbildungsobjektivs bezeichnet wird, so müssen, durch Brechungen und durch eine gerade oder ungerade Anzahl von partiellen Reflexionen an den Flächen des Objektivs, sogenannte katadioptrische Bilder der Leuchtfeldblende und der Aperturblende entstehen. Je ein Bild der Leuchtfeldblende und der Aperturblende gehören immer paarweise zusammen. Ihre Lage und Größe ist, von gewissen Sonderfällen abgesehen, nicht ohne weiteres zu übersehen, sie können starke Aberrationen aufweisen, auch können sie durch die Ränder der Linsen vignettiert werden; man kann aber das eine sicher sagen, daß sie unter sonst gleichen Umständen um so kleiner sein werden, je kleiner die Aperturblende und die Sehfeldblende sind. Von der Größe dieser Bilder hängt es aber, unter sonst gleichen Umständen, ab, wie stark und in welcher Ausdehnung die Strahlen, die zwischen einem solchen Bildpaar verlaufen, den Schirm oder die photographische Schicht treffen, und dadurch eine das Bild verschleiernde Nebenbeleuchtung bewirken. Das hier Gesagte erstreckt sich naturgemäß auch auf das Okular; auch dessen Linsen erzeugen solche katadioptrischen Bildpaare.

Bei einer gegebenen optischen Einrichtung hat man nur ein Mittel, die schädliche Wirkung dieser katadioptrischen Bilder, die Verschleierung des eigentlichen dioptrischen Bildes, zu vermindern: Aperturblende und Sehfeldblende müssen so weit verkleinert werden, als es mit Rücksicht auf andere Umstände zulässig ist.

Die Sehfeldblende muß natürlich immer noch so groß bleiben, daß ein ausreichend langer und breiter Spalt beleuchtet wird. Damit man die Blendenöffnung bis nahe an diese Grenze verkleinern kann, muß das Gesamtsystem, d. h. Beleuchtungsobjektiv und Abbildungsmikroskop, ein ausreichend scharfes Bild der Leuchtfeldblende entwerfen. Das ist dann der Fall, wenn auch das Beleuchtungsobjektiv für sich ausreichend korrigiert ist, also gegebenenfalls für die Verwendung ohne Deckglas, und wenn es mit der richtigen Tubuslänge verwandt wird. Die letzte Forderung bedeutet, daß sich die Leuchtfeldblende an dem Ort befindet, wo das System, als Mikroskopobjektiv an einem normalen Mikroskop benutzt, ein möglichst fehlerfreies vergrößertes Bild des Objekts entwerfen würde. Die Weite der Aperturblende ist nach oben durch die Apertur des Abbildungsmikroskops begrenzt, nach unten aber einmal durch die Rücksicht auf ie Helligkeit des Bildes, die sich mit dem uadrat der Apertur ändert, und zum andern urch störende Interferenzerscheinungen, die m Rande des Schattenbildes auftreten, wenn die Apertur des Beleuchtungskegels zu klein wird.

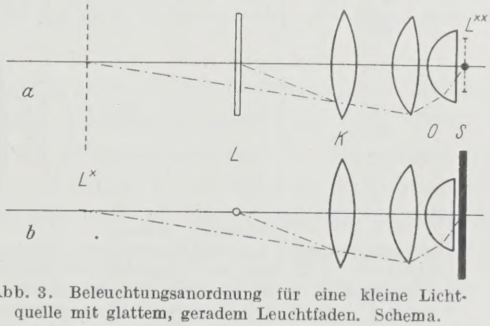



Abb. 3. Beleuchtungsanordnung für eine kleine Lichtquelle mit glattem, geradem Leuchtfaden. Schema. *a* erster Hauptschnitt, senkrecht zur Achse der Saite; *b* zweiter Hauptschnitt, durch die Achse der Saite. *L* Lichtquelle; *K* Kollektor; *O* Objektiv des Beleuchtungsmikroskops; *S* Saite; $L^*$ vom Kollektor entworfenes Bild der Lichtquelle; $L^{**}$ von Kollektor und Objektiv entworfenes Bild der Lichtquelle.

Es soll nun die Beschreibung einiger Beleuchtungsanordnungen folgen, welche ie vorstehenden Anforderungen mehr oder wenig vollständig erfüllen.

1. Eine sehr einfache, schon in dieser Zeitschrift an anderer Stelle[1] einmal

[1] E. v. Angerer, Ein registrierendes Saitengalvanometer von großer Registriergeschwindigeit. *Diese Zeitschr.* **42** *S. 1 — 6. 1922.*

beschriebene Anordnung ist schematisch in Abb. 3 dargestellt. *a* zeigt den erster Hauptschnitt, senkrecht zur Saite *S*, *b* den zweiten Hauptschnitt, der durch die Achse der Saite *S* gelegt ist. *O* ist das schematisch durch zwei Linsen dargestellte Beleuchtungsobjektiv, das Abbildungsmikroskop ist nicht gezeichnet. *K* ist eine Hilfslinse, ein Kollektor, der ein Bild $L^*$ der fadenförmigen Lichtquelle *L* vergrößert in einem solchen Abstand entwirft, daß das Objektiv *O* mit der richtigen Tubuslänge benutzt wird, wenn es dieses Bild $L^*$ verkleinert nach $L^{**}$, in die Einstellebene und auf die Saite *S* abbildet. Saite und fadenförmige Lichtquelle müssen sich senkrecht kreuzen, damit die der Abb. 2 entsprechende Beleuchtung erzielt wird.

Man könnte natürlich auch eine fadenförmige Lichtquelle direkt am Ort von $L^*$ anordnen und die Linse *K* weglassen. Der Faden müßte dann etwa im Verhältnis der Strecken $L^*K:LK$ breiter sein, wenn dessen Bild in der Einstellebene dieselbe Breite haben sollte wie vorher. Der Kollektor *K* gestattet also die Verwendung einer kleineren Lampe, die beträchtlich weniger elektrische Energie erfordert als die ohne Kollektor erforderliche größere. Ihre Strahlung wird dem entsprechend besser ausgenutzt. Mit Hilfe des Sinussatzes lassen sich die numerischen Werte leicht berechnen.

Die Ökonomie der Anordnung wird um so größer, je größer die wirksame Apertur der Hilfslinse *K* und damit die Vergrößerung des Bildes $L^*$ wird. Doch erreicht man bald eine Grenze. Denn der Abstand *KL* kann wegen der Glaskugel, die den Leuchtfaden umgibt, nicht unter einen gewissen Betrag sinken, und weiter verhindert auch die optische Beschaffenheit der geblasenen Glashülle eine genügend fehlerfreie Abbildung des Fadens durch Kegel von größerer Apertur: ein Gegenstück zu der bekannten Tatsache, daß man zwar mit unbewaffnetem Auge durch eine gewöhnliche Fensterscheibe deutlich sehen kann, aber nicht mit einem Fernrohr.

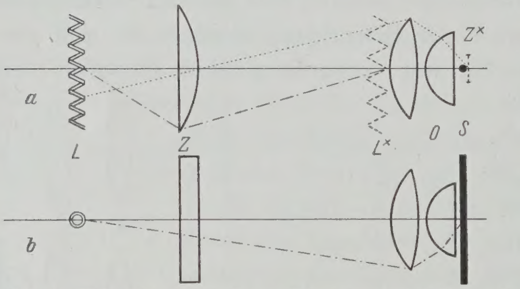



Abb. 4. Beleuchtungsanordnung für eine „wendelförmige" Lichtquelle. Schema.
*a* erster Hauptschnitt; *b* zweiter Hauptschnitt. *L* Lichtquelle; *Z* Zylinderlinse; $L^*$ durch die Zylinderlinse entworfenes Bild der Lichtquelle; *O* Objektiv des Beleuchtungsmikroskops; *S* Saite; $Z^*$ vom Objektiv entworfenes Bild der Zylinderlinse.

2. Die unter 1. beschriebene einfache Anordnung setzt eine ganz gleichförmig leuchtende faden- oder bandförmige Lichtquelle voraus, wie sie die älteren Glühlampen besaßen. Die neueren Lampen mit gesteigerter Flächenhelle besitzen jedoch in der Regel einen schraubenförmig aufgewundenen Faden, eine „Wendel". Dadurch ist die Breite des Leuchtkörpers auch bei niederer Stromstärke schon wesentlich größer als bei den älteren Lampen, die Hilfslinse *K* kann infolgedessen wegfallen, und die Wendel an der Stelle angebracht werden, die $L^*$ in Abb. 3 entspricht. Das Leuchtfeld ist aber nun kein einfacher heller Streifen, ähnlich dem Bild eines Spaltes, sondern es ist die Projektion der Wendel. Sie sieht ähnlich aus wie das Schema *L* in Abb. 4a, nur ist die Steigung wesentlich kleiner. Auch ist die Helligkeit nicht gleichmäßig verteilt: die Innenseite der Wendel strahlt wesentlich heller als die Außenseite. Das ist eine Folge der „Hohlraumstrahlung". Besonders bei der Registrierung wäre das störend: abwechselnd hellere und dunklere Streifen müßten parallel der Laufrichtung des Papieres erscheinen. Für die Praxis ausreichend vermeidet man diesen Fehler durch eine Zylinderlinse *Z* (Abb. 4), die in dem zweiten Hauptschnitt (*b*) nur als Planglas wirkt, also optisch fast unwirksam ist, im ersten Hauptschnitt (*a*) aber die Wendel, und zwar deren Breite, vergrößert in die Eintrittspupille oder Aperturblende

des Beleuchtungsobjektivs $O$, bei $L^*$ abbildet. In der schematischen Darstellung ist die Vergrößerung des Bildes nicht berücksichtigt. Praktisch genügt es, wenn das Bild, wie gezeichnet, etwa auf die oberste Linse des Objektivs fällt. Die Streifung wird infolgedessen nicht mehr in die Einstellebene abgebildet, sondern es erscheint — eine Kleinigkeit hinter der Einstellebene — bei $Z^*$ ein Bild der Öffnung der Zylinderlinse $Z$ oder vielmehr der beiden scharfen Ränder dieser Linse. Im Gesichtsfeld zeigt sich ein spaltförmiger heller Streifen, ähnlich wie er in Abb. 2 bei $Sp$ gezeichnet ist. Die Spaltbreite ist bedingt durch den Durchmesser der Wendel, die Länge des Spaltes aber durch die Breite der Zylinderlinse $Z$ in Abb. 4a. Die in Abb. 4b gezeichnete Höhe der Zylinderlinse $Z$ spielt bei der Strahlenbegrenzung keine Rolle. Sie muß nur so groß sein, daß sie nichts von der Lichtquelle abblendet.

Bei den unter 1. und 2. beschriebenen Anordnungen können Leuchtfeld und Apertur nicht weiter geregelt werden; sie sind durch die Größe (Breite) der Lichtquelle und durch das zur Beleuchtung benutzte Mikroskopobjektiv ein für allemal bestimmt. Wenn die Wahl zweckmäßig getroffen ist, so hat das natürlich gewisse Vorteile: sorgt man für gleichbleibende Belastung der Lampe und gleichbleibende Vergrößerung, so bleibt auch die Helligkeit des Bildes unverändert. Auch deren Änderung mit der Vergrößerung läßt sich einfach übersehen: sie nimmt mit dem Quadrat der Vergrößerung ab.

Die letzte nun noch zu beschreibende Einrichtung gestattet aber, beide Größen weitgehend zu regeln, setzt auch keine fadenförmige Lichtquelle voraus, sondern kann mit Lichtquellen benutzt werden, deren Leuchtfläche nach allen Seiten etwa gleichmäßig ausgedehnt ist.

3. Diese Anordnung wird für Leser, die den Strahlengang im Mikroskop kennen, am einfachsten verständlich, wenn man sich auch als Beleuchtungssystem zunächst einmal ein vollständiges Mikroskop mit Objektiv und Okular vorstellt, und oberhalb des Okulars, am Ort des Ramsdenschen Kreises — des vom Okular entworfenen Bildes der Objektivöffnung — eine Aperturblende von veränderlicher Öffnung angebracht denkt.

Am Ort der Okularblende aber befinde sich ein Spalt von veränderlicher Weite. Es sind also zwei vollständige, zusammengesetzte Mikroskope, nicht nur zwei Mikroskopobjektive, in symmetrischer Anordnung zu der Einstellebene und der Schwingungsebene der Saite angebracht. An die Stelle der auf Seite 150 erwähnten, spaltförmigen Leuchtfeldblende tritt hier die spaltförmige Okularblende; sie wird durch das Kollektiv des Okulars und das Objektiv des Beleuchtungsmikroskops in die Einstellebene abgebildet. In dieser Hinsicht besteht also kein wesentlicher Unterschied gegenüber der dort erwähnten einfachen Anordnung.

Wesentlich dagegen ist, daß die am Beleuchtungsokular, nahe am Ort des Ramsdenschen Kreises, angebrachte Irisblende nahe an der Hinterlinse des Beleuchtungsobjektivs abgebildet wird. Schließt man sie hinreichend, so blendet sie einen Teil der Öffnung des Beleuchtungsobjektivs ab, wirkt also genau so, wie eine nahe der Iris dieses Objektivs angebrachte körperliche Blende oder, da das Objektiv ja als Kondensor dient, wie eine Kondensorblende: sie gestattet, die wirksame Apertur des Beleuchtungssystems bequem zu regeln. Die Einführung des Okulars bietet den praktisch wichtigen Vorteil, daß eine solche Aperturblende über dem Okular, an einer bequem zugänglichen Stelle, angeordnet werden kann. Andernfalls müßte sie nahe an dem Objektiv, tief im Innern des Beleuchtungstubus angebracht werden.

Dieser Vorteil läßt sich aber keineswegs nur durch ein vollständiges Okula erreichen, es genügt vielmehr dessen Kollektiv allein, ohne die Augenlinse. Denn da Kollektiv allein liefert schon einen Ramsdenschen Kreis, ein reelles Bild der Objektiv öffnung, und dieses Bild ist größer, als das vom ganzen Okular entworfene, so daß man es durch eine Irisblende von größerem Durchmesser wirksam abblenden kann Das ist sicher vorteilhaft, denn Irisblenden mit sehr kleiner Öffnung haben mancherle praktische Nachteile.

Abb. 5 zeigt nun diese Anordnung mit dem unvollständigen, nur aus einen Kollektiv bestehenden „Okular" in schematischer Darstellung. Zum leichteren Ver ständnis muß darauf hingewiesen werden, daß die Abstände der einzelnen Teile au der Achse zu klein dargestellt sind im Vergleich zu den Durchmessern der Linsen und Blenden usw. Auch sind diese Durchmesser keineswegs in den ganz richtigen Maß verhältnissen gezeichnet. Eine maßstäblich richtige Darstellung hätte, wenn sie deutlich sein sollte, zu viel Raum beansprucht.

Abb. 5a zeigt wieder den ersten, Abb. 5b den zweiten Hauptschnitt.

*O* ist das Objektiv des Beleuchtungsmikroskops, $K_2$ das Kollektiv von dessen Okular. *Sp* ist die spaltförmige Okularblende, die, ähnlich wie die Blende des Huygensschen Okulars, durch das Kollektiv $K_2$ virtuell nach $Sp^*$ abgebildet wird.

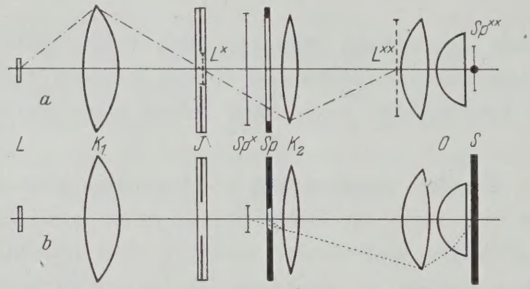



Abb. 5. Beleuchtungsanordnung für beliebig gestaltete Lichtquellen mit regulierbarer Leuchtfeld- und Aperturblende. Schema. *a* erster Hauptschnitt; *b* zweiter Hauptschnitt. *L* Lichtquelle; $K_1$ Kollektor; *J* Irisblende als Aperturblende; $L^*$ vom Kollektor in der Irisblende entworfenes Bild der Lichtquelle; *Sp* Spalt als Leuchtfeldblende; $K_2$ Kollektiv; $Sp^*$ vom Kollektiv entworfenes Bild des Spaltes *Sp*; $L^{**}$ nahe der Iris des Objektivs *O* entworfenes Bild der Lichtquelle; *O* Objektiv des Beleuchtungsmikroskops, *S* Saite; $Sp^{**}$ vom Objektiv und Kollektiv entworfenes Bild der Spaltblende.

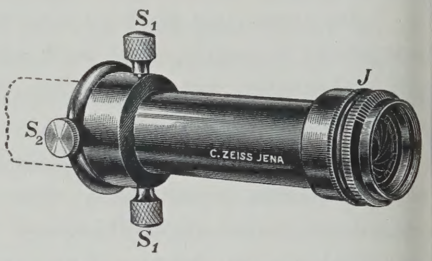



Abb. 6. „Okular" des Beleuchtungsmikroskops für Saitengalvanometer (etwa 1/2 nat. Größe). *J* Aperturblende (Irisblende); $S_1$ $S_1$ Schrauben zum Einstellen der Spaltbacken der spaltförmigen Leuchtfeldblende; $S_2$ Klemmschraube zum Festklemmen des „Okulars" am oberen Rand des Okularstutzens des Beleuchtungsmikroskops; der Okularstutzen mit dem darin steckenden, das Kollektiv enthaltenden Teil des „Okulars" ist gestrichelt gezeichnet.

Dieses Bild $Sp^*$ ist es, welches das Objektiv *O* nach $Sp^{**}$ in die Einstellebene als Leuchtfeld scharf abbildet. Bei *J* befindet sich die Irisblende, die, als Aperturblende wirkend, durch das Kollektiv $K_2$ nahe an den Brennpunkt des Objektivs *O* abgebildet wird. Zur Vervollständigung ist nur noch eine Kollektorlinse $K_1$ nötig, die ein Bild der Lichtquelle *L* auf die Öffnung der Aperturblende *J* entwirft. Dieses Bild $L^*$ wird dann mit der Blende *J* zusammen durch das Kollektiv $K_2$ des Beleuchtungsokulars nach $L^{**}$ abgebildet. $L^{**}$ muß so groß sein, daß es bei voll geöffneter Iris *J* die Hinterlinse des Objektivs *O* vollkommen deckt, so daß dessen volle Apertur wirksam werden kann. Die Öffnung des Kollektors $K_1$ muß so groß sein, daß der Strahlenkörper, der durch die Blenden *J* und *Sp* in bekannter Weise bestimmt ist, durch die freie Öffnung von $K_1$ nicht irgendwie vignettiert wird.

Die mechanische Anordnung (Abb. 6) ist so getroffen, daß das Kollektiv, die verstellbare Spaltblende — $S_1$ $S_1$ sind die Stellschrauben — und die Irisblende *J* zusammen in eine Röhre gefaßt sind, die sich wie ein Okular in das freie Ende des

Beleuchtungstubus $S_2$ einschieben läßt. Dieser ist mit dem darin steckenden Teil les „Okulars" nur gestrichelt dargestellt. Durch diese Anordnung ist eine ausreichende Justierung der beiden Blenden gegen die Achse des Beleuchtungsmikroskops ohne veiteres gesichert, und beide sind bequem zugänglich. Inbesondere läßt sich auch die ichtige Lage des Bildes der Lichtquelle $L^*$ zur Aperturblende $J$ jederzeit leicht prüfen. Das wäre bei einer einfacheren Abb. 4a etwa entsprechenden Anordnung, bei der das Kollektiv $K_2$ fehlte und bei der der Kollektor $K_1$ das Bild der Lichtquelle $L$ direkt ıach $L^{**}$ entwerfen müßte, nicht der Fall.

Diese unter 3. beschriebene Einrichtung ist schon mehrfach im Gebrauch. Insesondere wird sie schon seit einigen Jahren in der Jenaer psychiatrischen Klinik in Verbindung mit einem großen Edelmannschen Saitengalvanometer mit bestem Erfolg enutzt. Als Lichtquelle dient eine Bogenlampe. Herr Dr. Hilpert hatte auch die Freundlichkeit, an diesem Apparat Versuche mit einer spaltförmigen Aperturblende, an Stelle der Irisblende $J$, anzustellen. Diese Abänderung hat jedoch in Verbindung mit lem optischen System des benutzten Registrierapparats keine merkbaren Vorteile geboten.

Auch die unter 2. beschriebene, einfachere Anordnung hat sich bei neueren Einrichtungen, welche die Firma Weckmar in Jena-Groß-Schwabhausen liefert, gut ewährt. Als Lichtquelle dient eine Halbwattlampe, deren Leuchtkörper aus einer einachen Wendel besteht. Sie verlangt eine Stromstärke von etwa 1,7 A und eine Spanıung von 6 V.

Solche Halbwattlampen sind wesentlich bequemer zu bedienen als Bogenlampen; s liegt jedoch in der Natur der Sache, daß ihre Flächenhelle oder Leuchtdichte, d. h. ie Lichtstärke je Quadratzentimeter der leuchtenden Fläche, um ein Mehrfaches kleiner st als die der Gleichstrombogenlampe. Unter sonst gleichen Umständen, d. h. mit leichem Beleuchtungsobjektiv und gleichem Abbildungsmikroskop, erreicht man mit er Bogenlampe — genau wie bei der Mikroprojektion — immer noch wesentlich ellere Bilder. Das gilt auch für die photographische Registrierung, da die „aktinische 'lächenhelle"[1] beider Lichtquellen sich ähnlich verhält wie die optische; die Überegenheit der Bogenlampe ist hier sogar noch größer.

---

# Wissenschaftliche und technische Fortschritte auf dem Gebiete des optischen Glases.

Von

Dr. **E. Berger** in Jena[2].

Die auf Grund der Arbeiten von Schott und Abbe hergestellten Jenaer opschen Gläser leiteten vor etwa 40 Jahren eine neue Epoche der optischen Industrie n. Durch Vermehrung der zur Verfügung stehenden Glasarten darüber hinaus Fortchritte zu erzielen, bleibt eine Aufgabe, an der ständig weiter gearbeitet worden ist. eue Glasarten lassen sich erreichen einerseits durch Einführung seltener Oxyde, weit sie die chemische Industrie billig und rein genug zu liefern vermag[3], ferner

[1] A. Köhler, Die chemische oder aktinische Flächenhelle einiger Lichtquellen und deren nderung durch eingeschaltete Mattscheiben. *Diese Zeitschr.* **42**. *S. 349—367. 1922.*

[2] Gekürzte Wiedergabe eines am 22. Sept. 1929 auf der Hauptversammlung der Deutschen esellschaft für Mechanik und Optik zu Nürnberg gehaltenen Vortrages.

[3] Bei einem Preis von mindestens 3000 RM. für 1 kg Germaniumoxyd ist trotz wissenschaftcher Abhandlungen und Patentschriften an eine Herstellung von Gläsern mit diesem seltenen xyd nicht zu denken. Glücklicherweise lassen sich die damit zu erzielenden angeblich neuartigen tischen Eigenschaften auch auf andere und billigere Weise erreichen.

durch systematische Erforschung der in der unübersehbaren Mannigfaltigkeit de Mischungen der Glasoxyde verborgenen Glasgebiete. Letztere Aufgabe stellt sich al eine mindestens zehn-dimensionale dar und umfaßt, wenn man die Abwandlungen de Zusammensetzung in Sprüngen von 5% vornimmt, bei 11 Stoffen theoretisch bereit etwa 30 Millionen verschiedener Mischungen. Durch eine besondere Methodik[1] lasse sich eine Reihe von Vereinfachungen durchführen, und dadurch gelingt es tatsächlich ohne unüberwindliche Schwierigkeiten systematische und wissenschaftlich exakte Durch arbeitungen von 5-Stoff-Systemen und darüber hinaus zu gewinnen, aus denen fü irgendeine Mischung das Glasbildungsvermögen, die optische Lage, Haltbarkeit, Aus dehnung und andere Eigenschaften zu entnehmen sind. Eine Aufstellung über di auf Grund derartiger und ähnlicher Arbeiten seit dem Erscheinen der letzten List des Jenaer Glaswerks neu hergestellten optischen Glasarten gibt nachstehend Tabelle. Der Fortschritt dieser Glasarten liegt jedoch z. T. nicht in den optische Daten sondern in anderen Eigenschaften wie verbesserter Haltbarkeit, Änderung de Ausdehnung usw.

Aufgaben auf dem Gebiet der gleichfalls durch einige neue Arten vermehrte Farbgläser lassen sich nur z. T. in idealer Weise lösen wie z. B. das Abschneide beliebig großer Gebiete des blauen Spektralendes durch die Gelb-, Orange- und Rot filter. Dagegen zeigen z. B. die Blaugläser zur abgestuften Entfernung des rote Spektralendes durchweg nicht so ideale Absorptionskurven und merkliche Lücken. Hier muß durch Kombination versucht werden, das Beste herauszuholen. Es sollte zu diesem Zwecke häufiger die Berechnung der Durchlässigkeit für verschiedene Glasdicken und bei Verwendung mehrerer Farbgläser zur Anwendung gelangen[2].

Die Bestimmung des Farbtones hängt außer vom Farbglasfilter von der Stärke und der Art der Lichtquelle sowie von der Farbtüchtigkeit des Beobachters ab. Es erscheint deshalb zunächst zweckmäßiger, die Charakterisierung der Farbfilter allein auf Grund der Durchlässigkeit für verschiedene Wellenlängen des ultravioletten, sichtbaren und infraroten Spektrums vorzunehmen.

Außer neueren Verbesserungen der Färbungs- und Blasenbeschaffenheit einiger schwieriger darstellbarer photographischer Gläser konnten deutliche Erfolge in der Erzeugung von Großstück-Optik, wie man sie wegen der Ausmaße nennen kann, erzielt werden, und zwar sowohl der Menge und Größe nach als auch hinsichtlich der Gleichmäßigkeit des Brechungswertes innerhalb der Stücke. Naturgemäß ist die Forderung idealer Homogenität um so schwieriger zu erfüllen, je größer und dicker die verwendeten Stücke werden. Auf die dabei auftauchenden Probleme wird in einem anderen Zusammenhange weiter unten eingegangen. Für die Kleinstück-Optik sind dagegen die Bedingungen hinsichtlich Homogenität infolge der kleineren Ausmaße durchweg leichter einzuhalten. Die dadurch möglichen Vereinfachungen der Herstellung gestatten deshalb für Massenerzeugnisse auch eine wesentliche Verbilligung des optischen Glases in Form von Gußglas und gepreßten Linsen.

Im allgemeinen geben den ersten Anstoß zum Fortschritt wissenschaftliche Erfolge, die dann die Technik ausgestaltet und die schließlich durch die Wirtschaft ausgewertet werden. In neuester Zeit scheint sich nun eine Umwälzung in der wissenschaftlichen Erkenntnis über die Natur des Glaszustandes zu vollziehen, die für den

[1] Näheres darüber findet man in der Arbeit: Berger, Physikalische und chemische Eigenschaften im Fünfstoffsystem der Natron-Kali-Kalk-Alumo-Silikatschmelzen (Glaszustand). *Glastechn. Ber.* **5.** *S. 569—597. 1928.*

[2] Anleitungen gibt z. B. die Liste der Jenaer Farb- und Filtergläser Nr. 4213.

Optische Lage neu hergestellter Glasarten.

| Glasart | Vorläufige Bezeichnung | $n_d$ | $V$ |
|---|---|---|---|
| Fluorkron . . . . . . | F K 5 | 1,4888 | 69,9 |
| Phosphat-Schwerkron | P S K 1 | 1,5488 | 62,8 |
| " " | P S K 2 | 1,5682 | 63,0 |
| " " | P S K 3 | 1,5523 | 63,3 |
| Kron . . . . . . . . | K 10 | 1,5017 | 56,5 |
| " . . . . . . . . | K 11 | 1,5013 | 61,4 |
| Schwerkron . . . . . | S K 14 | 1,6028 | 60,6 |
| " . . . . . | S K 15 | 1,6236 | 58,0 |
| " . . . . . | S K 16 | 1,6202 | 60,4 |
| " . . . . . | S K 17 | 1,6027 | 59,4 |
| Kronflint . . . . . . | K F 5 | 1,5232 | 51,1 |
| Schwerstkron . . . . | S S K 4 | 1,6190 | 54,9 |
| " . . . . | S S K 5 | 1,6578 | 51,2 |
| Doppelleichtflint . . . | LL F 5 | 1,5613 | 45,4 |
| " . . . | LL F 6 | 1,5333 | 48,9 |
| Baritflint . . . . . . | Ba F 8 | 1,6236 | 47,0 |
| " . . . . . . | Ba F 9 | 1,6396 | 48,3 |
| " . . . . . . | Ba F 10 | 1,6702 | 47,3 |
| Flint . . . . . . . . | F 9 | 1,6193 | 38,1 |
| " . . . . . . . . | F 10 | 1,6238 | 36,7 |
| Barit-Schwerflint . . . | Ba S F 5 | 1,6033 | 42,5 |
| Schwerflint . . . . . | S F 8 | 1,6890 | 31,0 |
| Kurzflint . . . . . . | Kz F 5 | 1,5226 | 52,5 |
| " . . . . . . | Kz F 6 | 1,5254 | 51,3 |

Fortschritt der Glastechnik, insbesondere des optischen Glases von größter Bedeutung zu werden verspricht und daher auch auf die Entwicklung der optischen Industrie nicht ohne Einfluß bleiben kann.

Bis vor wenigen Jahren glaubte man, daß eine Flüssigkeit, wenn sie nicht kristallisiert, d. h. sich beim Schmelzpunkt unter unvermittelter Änderung der meisten Eigenschaften zu einem festen Kristallgitter gestaltet, beim Abkühlen lediglich allmählich zäher und zäher wird und schließlich nach ganz kontinuierlicher Veränderung ihrer Eigenschaften als starres, nicht kristallartig gestaltetes, amorphes Glas vorliegt, in dem die Moleküle wie in einer Flüssigkeit völlig regellos lagern. Man bezeichnete deshalb Glas als eine unterkühlte Flüssigkeit.

Nach neueren Beobachtungen verläuft dieser Übergang von flüssig zu starr nicht so kontinuierlich wie man geglaubt hatte[1]. In der Nähe einer bestimmten, weit, z. T. mehrere 100°, unterhalb des Schmelzpunktes liegenden Temperatur, dem sog. Transformationspunkt (Trf.punkt) entwickelt sich vielmehr Wärme, ein Vorgang, der an die Wärmeentwicklung beim Kristallisieren im Schmelzpunkt erinnert. Gleichzeitig wird das oberhalb des Trf.punktes noch zähflüssige Glas plötzlich spröde, d. h. eine punktförmig einwirkende Druckkraft erzeugt nunmehr kein Fließen mehr sondern Sprünge.

Die Volumenverminderung (und entsprechend naturgemäß die Änderung des spez. Gewichtes) geschieht sowohl oberhalb als unterhalb des Trf.punktes geradlinig aber mit verschiedener Neigung, so daß im Trf.punkt die Volumenkurve einen Knick auf-

[1] Für eingehendere Studien sei verwiesen auf: Berger, Beitrag zur Frage nach der Natur des Glaszustandes. *Glastechn. Ber.* **5.** *S. 393. 1927* und die dort angegebene Literatur, sowie auf das umfassendere Werk von W. Eitel, Physikalische Chemie der Silikate. L. Voss, Leipzig 1929.

weist. Durch einen ganz ähnlichen Knick ergibt sich die Lage des Trf.punktes, wenn man den Logarithmus des elektrischen Widerstandes in Abhängigkeit von der reziproken absoluten Temperatur aufträgt. Beobachtet man ferner während des Erhitzens eines Glasstückes den Brechungsindex, so steigt er zunächst ziemlich gradlinig an, um mit Überschreiten des Trf.punktes sehr steil abzufallen.

Oberhalb einer etwa dem Schmelzpunkt bzw. der Temperatur beginnender Kristallisation entsprechenden Aggregationstemperatur ist die Zähigkeit einer Glasschmelze nicht wesentlich von der einer gewöhnlichen Flüssigkeit verschieden. Sie beträgt bei der Aggregationstemperatur im absoluten Maß etwa 10 Einheiten. Nach Unterschreitung dieser Temperatur fängt sie aber immer rascher an zu wachsen, um beim Trf.punkt etwa den Wert $10^{13}$ zu erreichen. Dieser Zähigkeitswert im Trf.punkt ist anscheinend der gleiche für alle glasartig erstarrenden Körper ganz unabhängig von der Zusammensetzung. Da unterhalb des Trf.punktes das Glas spröde ist, kann man hier von einer eigentlichen Zähigkeit nicht mehr sprechen. Die gemessenen Beweglichkeitswerte lassen jedoch erkennen, daß unterhalb des Trf.punktes die Zähigkeit nicht mehr stark ansteigt, daß also auch die Zähigkeitskurve im Trf.punkt einen Knick aufweist,

Diese Änderung im mechanischen Verhalten hat für eine erstarrende Glasschmelze zur Unterscheidung des flüssigen (oberhalb der Aggregationstemp.), des zähflüssigen (zwischen dieser und der Trf.temperatur) und des spröden Zustandes (unterhalb des Trf.punktes) geführt. Alle bis jetzt untersuchten Eigenschaften erleiden im Trf.punkt eine Änderung. Die spez. Wärme des spröden Glases, die fast gleich der des kristallisierten Glasproduktes ist, steigt dabei innerhalb eines kleinen Temperaturintervalles auf nahezu den Wert der flüssigen Schmelze. Ebenso sprunghaft ändert sich die Dielektrizitätskonstante und das mechanische Verhalten (spröde-zähflüssig). Diese drei Erscheinungen lassen erkennen, daß die im spröden Zustand starr an feste Lagen gebundenen Teilchen der Gläser unter Wärmeaufnahme eine Beweglichkeit erhalten, daß also der amorphfeste (spröde), dem kristallisierten dem Energiegehalte nach ähnelnde Zustand sprunghaft in einen quasi-flüssigen übergeht. Andere Eigenschaften ändern sich im Trf.punkt, wie geschildert wurde, nicht unstetig, wohl aber erleidet ihr Temperaturkoeffizient einen Sprung.

Ein Aggregatzustand ist im allgemeinen vollständig definiert durch die Zustandsgrößen: Temp., Druck und Volumen, die durch eine Beziehung zu der sog. Zustandsgleichung miteinander verknüpft sind. Jeder der drei klassischen Zustände: gasförmig, flüssig und kristallisiert-fest hat seine besondere Zustandsgleichung. Kürzlich[1] konnte nun der Nachweis erbracht werden, daß der spröde Glaszustand tatsächlich eine andere Zustandsgleichung besitzt als der zähflüssige. Damit ist in jeder Beziehung erwiesen, daß der Glaszustand als ein bisher reichlich vernachlässigter, aber dennoch durchaus selbständiger „vierter" Aggregatzustand der Materie anzusehen ist, nämlich als der der amorph-festen Materie.

Daß der spröde Glaszustand wesentlich ein amorpher ist, in dem die Teilchen im Gegensatz zum kristallisierten regellos verteilt liegen, haben viele Untersuchungen mittels Röntgenstrahlen erwiesen. Charakteristisch ist ferner die Abhängigkeit der Glaseigenschaften von der Wärmevorgeschichte. Wie sich experimentell für das Gebiet zwischen etwa $100^0$ ober- und unterhalb des Trf.punktes zeigen ließ, ist z. B. das Brechungsvermögen eines Glases durchaus keine Konstante. Nach mehr oder weniger

[1] Tammann und Jellinghaus, Die Volumenfläche im Erweichungsintervall von Gläsern. *Ann. d. Physik (5)* **2**. *S. 264. 1929.*

langer Zeit stellt sich jedoch für jede dieser Temperaturen ein Endwert ein, der als Gleichgewichtswert für die betreffende Temperatur anzusehen ist, da er stets derselbe ist, gleichgültig, ob man von einem Zustand höherer oder niederer Temperatur ausgeht. Die Geschwindigkeit, mit der diese Gleichgewichtseinstellung erfolgt, wird mit fallender Temperatur sehr rasch kleiner. Etwa 100⁰ unterhalb des Trf.punktes dauert es bereits eine Woche, bis der Gleichgewichtswert erreicht ist. Eine Änderung des Brechungsvermögens bei Zimmertemperatur läßt sich bekanntlich überhaupt nicht mehr nachweisen.

Alle Gleichgewichtswerte in Abhängigkeit von der Einstelltemperatur liegen auf zwei Graden, die im Trf.punkt in einem Knick zusammenstoßen. Dies gilt sowohl für die Untersuchung des Brechungswertes bei der betreffenden Temperatur selbst als auch nach dem Abschrecken auf Zimmertemperatur. Ein ähnliches Verhalten ergab auch die Untersuchung anderer Eigenschaften. Es folgt daraus, daß bei der Abkühlung eines Glasflusses neben rein physikalischen Änderungen auch solche der physikalisch-chemischen Zusammensetzung erfolgen.

Zu den zwei bis jetzt bekannten Ursachen für die Inhomogenität optischen Glases: ungleiche chemische Zusammensetzung (Schlieren) und Spannung und dadurch erzeugte Doppelbrechung kommt also als dritte die Ungleichheit der physikalisch-chemischen Zusammensetzung. Es hat sich nachweisen lassen[1], daß für gutes optisches Glas der Einfluß der ersten beiden Ursachen auf den Brechwert nicht mit Sicherheit zu erkennen ist, wohl aber der physikalisch-chemischer Ungleichheit. Aus den erwähnten Gleichgewichtsgraden ergibt sich, daß je nach der Glasart für 1⁰ Temperaturdifferenz Unterschiede in der Brechung von einigen Einheiten der 5. Dezimale bestehen. Für ideale Homogenität berechnet sich, bedingt durch die Wellenlänge des Lichtes, für 1 cm Glaslänge als obere Grenze der zulässige Brechungsunterschied zu etwa 7 Einheiten der 6. Dezimale. Zwecks gleichmäßiger Einstellung des Gleichgewichtswertes darf also während der Abkühlung der Temperaturunterschied in einem Glasstück den Wert von einigen Zehntel-Graden nicht übersteigen. Tatsächlich gelingt es, auch für Großstückoptik, diesem Ideal durch Präzisionskühlung sehr nahe zu kommen.

Die neuen Anschauungen über den Glaszustand liefern also schon jetzt der Technik wertvolle Anregungen zur Verbesserung ihrer Erzeugnisse. Mit der weiteren Erforschung des inneren Glaszustandes dürften sich auch neue Einblicke in die Vorgänge eröffnen, die sich an Glasoberflächen abspielen, wie z. B. beim Polieren, bei der Einwirkung von Gasen[2], Wasser und anderen Agenzien usw. Ein besonderes Interesse wird für die optische Industrie neben der Erhöhung der Wetterbeständigkeit[3] die Verminderung der Reflexionsverluste besitzen, die man durch Behandlung der Oberflächen mit chemischen Mitteln auf die Hälfte oder noch weniger herabdrücken kann[4].

Fortschritte in Richtung auf neuartige Gläser sind zu erwarten von der Beantwortung der Frage: Was ist der eigentliche Grund dafür, daß einige Flüssigkeiten in

---

[1] Tilton, Finn und Tool, *Cause and removal of certain heterogeneities in glass. Scientif. Papers Bur. of Standards No. 572.* **22.** *S. 719. 1928.*

[2] Keppeler, Chemische Wirkung der Glaskühlung. *Sprechsaal* **61.** *S. 300. 1928.* — Löber Kühlung und Auslaugwerte chemischer Apparategläser. *Ebd. S. 160.*

[3] Morey, *Summary of the literature relative to the formation of film on polished glass surfaces. Journ. Opt. Soc. Amer.* **6.** *S. 688. 1928.*

[4] Wright, *The manufacture of optical glass and of optical systems. Washington, 1921, S. 76.* — Amy, *Contribution à l'étude de la réflexion vitreuse. Rev. d'Optique* **6.** *S. 305. 1927.*

den kristallisiert-festen, andere in den amorph-festen Zustand übergehen? Da einatomig aufgebaute Metalle mit größter Leichtigkeit kristallisieren, ist zu erwarten, daß die Neigung zur Glasbildung um so mehr zunimmt, je größer die Zahl der Atome wird, aus denen sich das Molekül der Flüssigkeit zusammensetzt. Ein weiterer Faktor scheint neben anderen das Größenverhältnis der Atome des Moleküls zu sein. Da es demnach gar nicht auf die Art der Atome selbst anzukommen scheint, könnten rein rechnerisch, auf Grund der Angaben der Atomphysik über die Atomradien der Elemente, nach dem Vorbild eines bekannten Glasbildners durch passende Abänderung der Atome unter Wahrung des Größenverhältnisses neue Glasverbindungen abgeleitet werden. Einen weiteren Hinweis auf die Fähigkeit zur Glasbildung hat man in der Art der Bindung zwischen den einzelnen Atomen gefunden. Jede chemische Doppelbindung im Molekül erscheint als Sitz von anziehenden Kräften, wodurch andere Moleküle herangezogen werden. Dieses Zusammentreten, dieses Häufungsbestreben der Moleküle etwa in Art einer Polymerisation[1] (oder Aggregation zu Kolloidmizellen) verhindert die Ordnung und den Aufbau zu Kristallen. Auch die Verschiebbarkeit des Gleichgewichtswertes der Brechung mit der Temperatur würde durch Annahme einer fortschreitenden Polymerisation oder Aggregation verständlich.

Die erwachende Erforschung von Stoffen wie Leim, von Ölen, Lacken, Seifen, Harzen und vielen anderen natürlichen Produkten, führt mehr und mehr zur Erkenntnis, daß der bisher allein als naturgesetzlich stabil angesehene kristallisiert-feste Zustand nur einen kleinen Ausschnitt aus dem Reiche der Materie umfaßt und daß ihm ein großes Gebiet von amorph-festen Stoffen gegenübersteht. Allen diesen amorphen Stoffen scheint aber gemeinsam zu sein, daß sie aus dem flüssigen Zustand zunächst in einen zähflüssigen und schließlich in den spröden oder wenigstens in einen elastischen übergehen. In ziemlichem Umfang gilt bereits die Regel, daß, wenn ein flüssiger Stoff beim Abkühlen nicht kristallisiert, er zähflüssig und schließlich glasartig wird, dabei eine Art Trf.punkt unter Wärmeentwicklung und unter Änderung der Eigenschaften bzw. ihrer Temperaturkoeffizienten durchläuft. So konnte nachgewiesen werden, daß eine Gelatinelösung bei der Gelatinierung Wärme entwickelt, Harze verhalten sich völlig wie Silikatgläser. Auch bei trocknenden Ölen und bei der Bildung von Kunstharzen wie Bakelit, Polopas u. a. zeigen sich durchaus analoge Vorgänge.

Wenn auch gerade die Kunstharze hinsichtlich der Verwendung als Glasersatz noch erhebliche Mängel zeigen, so hindert das nicht, ungeahnte Möglichkeiten in diesem, wie angedeutet, erweiterten Reich der amorph-festen Materie auch für die optische Industrie zu erblicken. Alle unsere Kenntnisse über glasig-amorphe Stoffe stecken ja noch in den Kinderschuhen. Soeben dämmert erst der Gedanke, daß allen etwas Gemeinsames zugrunde liegt, nämlich die Idee eines „vierten“ Aggregatzustandes mit eigenen Gesetzmäßigkeiten. Vielleicht ist die Glasforschung berufen, wichtige Beiträge zur Herausarbeitung der Grundgesetze dieses bisher kaum wissenschaftlich bearbeiteten Zustandes zu liefern.

---

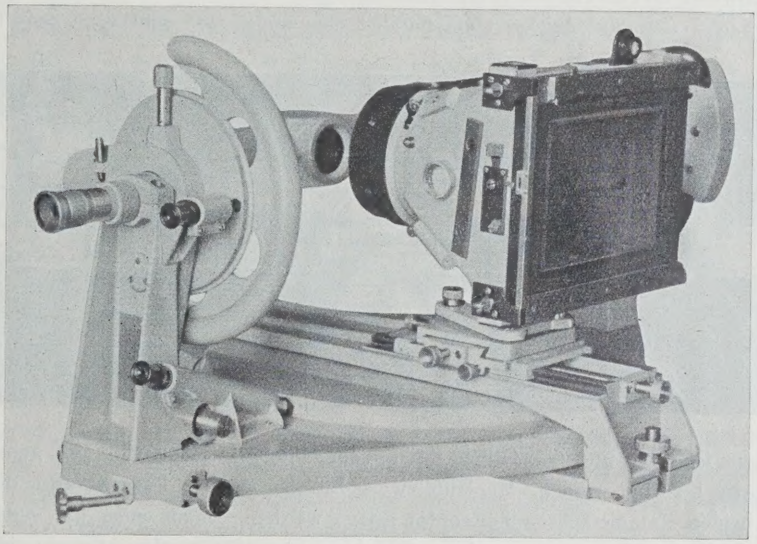
[1] Vgl. hierzu die Arbeiten Anm. 4. S. 159.

# Berichte.

## Ein Theodolit von Hugershoff-Heyde zur Bestimmung der inneren Orientierung einer Meßkammer.

Bericht von P. Werkmeister.

Bei dem als Aerokartograph bezeichneten photogrammetrischen Auswertungsinstrument der Aerotopograph G. m. b. H. erfolgt die Einpassung der einzelnen Bilder im Bildträger nicht auf Grund der Brennweite und der beiden den Bildhauptpunkt bestimmenden Markenpaare, sondern mit Hilfe des durch den hinteren Hauptpunkt des Kammerobjektivs einerseits und die vier Bildmarken andererseits bestimmten Strahlenbüschels. Das Verfahren beruht auf der Annahme, daß bei Veränderungen der Kammer infolge von thermischen oder mechanischen Einflüssen insbesondere die Brennweite, nicht aber das erwähnte Strahlenbüschel in Mitleidenschaft gezogen wird. Die Einpassung eines Bildes im Bildhalter mit Hilfe des Strahlenbüschels durch die vier Marken bietet insbesondere den Vorteil, daß auch solche Bilder für die Auswertung benutzt werden können, die aus irgendeinem Grund im Augenblick ihrer Aufnahme nicht vollständig an dem Markenrahmen der Kammer anlagen; bei der Einpassung eines Bildes auf Grund der Brennweite und des Bildhauptpunktes werden durch Bilder der angegebenen Art Fehler verursacht.



Gibt man die innere Orientierung einer Meßkammer durch entsprechende Winkel des durch ie vier Marken bestimmten Strahlenbüschels an, so kann man diese Winkel dadurch ermitteln, aß man zunächst die Brennweite und die Lage des Bildhauptpunktes bestimmt und sodann hieraus ie erforderlichen Winkel berechnet. Bequemer ist es, wenn man diese Winkel unmittelbar mit ilfe eines besonderen Instruments messen kann; ein solches theodolitartiges Instrument wird von er Firma G. Heyde nach den Angaben von R. Hugershoff gebaut.

Der neue Theodolit zur Bestimmung der inneren Orientierung einer Meßkammer (vgl. die Abb.) esteht aus zwei Hauptteilen, dem Träger der Kammer und dem eigentlichen Theodolit zum Messen on Horizontal- und Vertikalwinkeln. Die Kammern, für die der Theodolit bestimmt ist, haben 1 Stelle des sonst üblichen Anlegerahmens eine planparallele Glasplatte, auf der die beiden arkenpaare und der ungefähr mit dem Bildhauptpunkt zusammenfallende Schnittpunkt $H$ der urch die Marken bestimmten Achsen durch kleine Kreise angegeben sind. Für die innere Orienerung der Kammer werden von dem Strahlenbüschel durch den hinteren Hauptpunkt des Kammerjektivs die vier Winkel gemessen zwischen $H$ und den vier Marken. Um diese Winkel als Horintal- bzw. Vertikalwinkel messen zu können, muß die Kammer auf ihrem Träger entsprechend ifgestellt werden. Der Träger ist für diesen Zweck mit einem Kreuzschlitten zum Zentrieren der ammer und mit Stellschrauben zum Vertikalstellen der Markenplatte versehen.

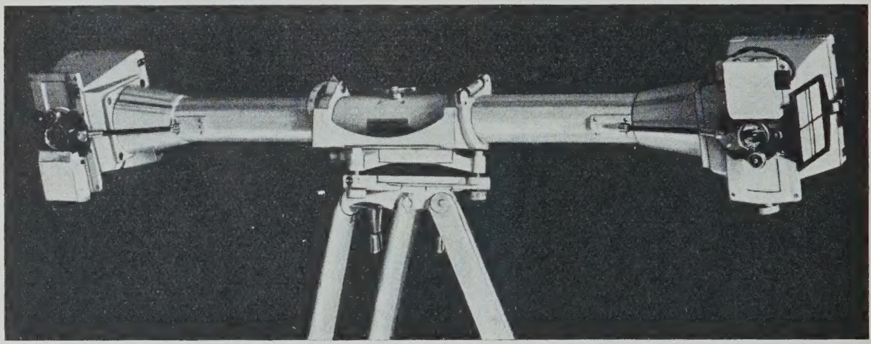
Der Theodolit hat ein auf unendlich gestelltes, gebrochenes Fernrohr. Für die Ablesungen am Horizontal- und am Vertikalkreis ist je ein Skalamikroskop vorhanden, mit dem auf eine Minute genau abgelesen werden kann. Das Ganze ist so eingerichtet, daß das Fernrohr des Theodolits durchgeschlagen, also in zwei Fernrohrlagen beobachtet werden kann.

Das neue — als Kammerprüfungstheodolit bezeichnete — Instrument bietet den Vorteil, daß man die für die Einpassung der Bilder im Bildträger des Auswertungsgerätes wichtige innere Orientierung der angegebenen Art öfters, z. B. nach besonderer Inanspruchnahme der Kammer unter stark verschiedenen Temperaturen in einfacher Weise neu bestimmen kann; die durch die Unsicherheit der inneren Orientierung verursachten Fehler bei den Bildauswertungen werden dadurch stark vermindert.

## Eine Doppelkammer von Hugershoff-Heyde für stereophotogrammetrisch auswertbare Aufnahmen.

Bericht von P. Werkmeister.

Das nach den Angaben von R. Hugershoff von der Firma G. Heyde gebaute, zur Aufnahme von Tatbeständen, Wellenformen, Einzelteilen von Maschinen usw. verwendbare Instrument besteht aus zwei, im Abstand von einem Meter starr miteinander verbundenen Meßkammern mit 13,5 cm Brennweite für $9 \times 12$ cm große Platten. Die beiden Kammern sind derart an ihrem Träger angebracht, daß ihre Achsen stets parallel zueinander und senkrecht zum Träger liegen.



Das Instrument ist dreh- und feststellbar mit seinem Unterbau verbunden und kann mit diesem auf einem Stativ befestigt werden. Mit Hilfe zweier Libellen und der Fußschrauben des Unterbaues können die beiden Kammerachsen horizontal gelegt werden. Damit auch bei vertikal gestellter Umdrehungsachse Aufnahmen mit geneigten Bildebenen gemacht werden können, sind die beiden Kammern mit ihrem Träger gemeinsam nach oben und unten kippbar; die den Neigungswinkeln $+20^0$, $+40^0$, $-20^0$ und $-40^0$ entsprechenden Kammerstellungen werden durch Schnappvorrichtungen festgehalten.

Die Objektivverschlüsse der beiden Kammern können von einer Stelle aus gleichzeitig gespannt werden. Die Auslösung der beiden Verschlüsse erfolgt auf elektromagnetischem Wege gleichzeitig; in besonderen Fällen kann die Auslösung auch einzeln vorgenommen werden.

Die Auswertung der mit der neuen Doppelkammer aufgenommenen Bildpaare geschieht punktweise mit Hilfe eines Stereokomparators.

## Eine neue Meßlupe und ihre Verwendung als Ablesevorrichtung sowie als selbständiges Meßgerät.

*Von* H. Hohenner. *Zeitschr. f. Vermessungsw.* **58.** *S. 353—366. 1929.*

Die von H. Hohenner angegebene, zum Messen von kleinen Strecken bestimmte Vorrichtung beruht darauf, daß ein durch eine planparallele Glasplatte gehender Lichtstrahl parallel verschoben wird. Die durch Reichspatent geschützte Vorrichtung besteht aus einer Lupe oder einem Mikroskop mit einer zwischen diesen und der zu messenden Strecke angebrachten, die Hälfte des Gesichtsfeldes ausfüllenden und um eine Achse senkrecht zu der messenden Strecke drehbaren

planparallelen Glasplatte. Die Drehungen der Glasplatte erfolgen mit Hilfe eines Knopfes; die durch sie hervorgerufenen Parallelverschiebungen eines Lichtstrahles können an einer auf einem Metallbogen angegebenen Teilung abgelesen werden.

Der Verfasser empfiehlt die Vorrichtung zum Ablesen an feinen Teilungen und als selbständiges Meßgerät. Als Ablesevorrichtung gehört das — in etwas anderer Form schon bei dem bekannten Theodolit von C. Zeiss auftretende — „Planglasmikroskop“ zu den als Strichmikroskop, Skalamikroskop, Noniusmikroskop und Schraubenmikroskop zu bezeichnenden Ablesemikroskopen.

Auf Veranlassung des Verfassers hat die Firma M. Hildebrand einen ihrer 12 cm-Theodolite mit 20 Minuten-Teilung mit zwei Planglasmikroskopen versehen; die damit ausgeführten Messungen haben ergeben, daß eine etwas größere Genauigkeit als mit Nonienablesung erreicht werden kann.

Die Firma M. Hensoldt & Söhne baut auf Anregung des Verfassers das Planglasmikroskop als selbständiges Meßgerät, an dessen nach beiden Seiten bis 2,5 mm gehender Teilung durch Schätzung auf 0,01 mm genau abgelesen werden kann. Das Gerät ist an einem Träger angebracht und kann entweder feststehend oder freihändig, bei auffallendem und bei durchfallendem Licht benutzt werden; bei feststehendem Gebrauch kann das Mikroskop mit einer Triebschraube eingestellt werden. Dem Meßgerät sind zwei, in einfacher Weise umwechselbare Mikroskope mit 5- und 10facher Vergrößerung beigegeben. Das Ganze ist in handlicher und gefälliger Form ausgeführt.

Das als „Meßlupe“ bezeichnete Gerät von M. Hensoldt & Söhne kann zum Messen von Drahtdicken, Lochweiten, Schraubenganghöhen, Fadendicken, Papierdicken usw. verwendet werden.

Um ein Bild von der mit der Meßlupe erreichbaren Genauigkeit zu erhalten, habe ich mit facher Vergrößerung eine auf einem Silberplättchen angegebene 2 mm lange Strecke mit der linken Hälfte und mit der rechten Hälfte der Teilung je 10 mal gemessen; dabei ergab sich als mittlerer Fehler einer Messung der Wert ± 0,025 mm. Der von einer unrichtigen Stellung der Ablesemarke herrührende Nullpunktsfehler, den man in einfacher Weise durch Messungen mit beiden Hälften der Teilung unschädlich machen kann, betrug 0,015 mm. *P. W.*

## Über die Anwendung der galvanometrischen Registriermethode in seismischen Gebieten.

*Von* J. Wilip. *Gerlands Beiträge zur Geophysik* ***19****. Heft 1. 1928.*

Die galvanometrische Registriermethode gewinnt immer größere Bedeutung in der Seismik. Speziell die Richtung der seismischen Strahlen und die Bodenverschiebungskomponenten in den Epizentralgebieten können recht exakt und einfach damit bestimmt werden. Verfasser empfiehlt im Gegensatz zu anderen Autoren nur sehr kompakt gebaute, in hermetisch abgeschlossenem Raum fest auf Stationspfeiler montierte Horizontalpendel für diese Zwecke. Die Empfindlichkeit des Gerätes wird ganz ausführlich untersucht und diskutiert. Besonderer Wert wird auf genaue Kontrollen und Bestimmungen der reduzierten Pendellänge des Horizontalpendels gelegt. Zwecks besserer Konstanz der Instrumentalwerte ist noch zu erwähnen, daß Verfasser Dämpfungsplatten aus zusammengeschichteten Plättchen aus reinem Kupfer und Aluminium verwendet, die die Nachteile der reinen Kupferplatte, die hauptsächlich dem Diamagnetismus des Kupfers zugeschrieben werden, beseitigen sollen. Die mit dem Instrument erzielte Vergrößerung beträgt 2500. Zum Schluß schlägt Verfasser vor, durch Stationshäufung in bebenreichen Gebieten die absoluten Verschiebungskomponenten für die aus der Tiefe stammenden Wellenperioden zu bestimmen. Auf diese Weise könnte man die Richtung der austretenden seismischen Strahlen näher studieren.

*P. Duckert.*

## Ein neues Seismometer mit elektromagnetischer Dämpfung und elektromagnetischer sowie optischer Vergrößerung.

*(A new seismometer equipped for electromagnetic damping and electromagnetic and optical magnification.)*

*Von* Frank Wenner. *Bur. of Stand.. Journ. of Research* ***2****. S. 963—999. 1929.*

Der Verfasser entwickelt ein Seismometer hoher Empfindlichkeit, das sowohl elektromagnetische als auch optische Vergrößerung benutzt, und das speziell für die Registrierung von fernen Beben angewendet werden soll. Vor ihm haben eine Reihe von Geophysikern die elektromagnetische Vergrößerung bereits verwendet, als erster wohl Galitzin. Nach diesem haben Goldschmidt

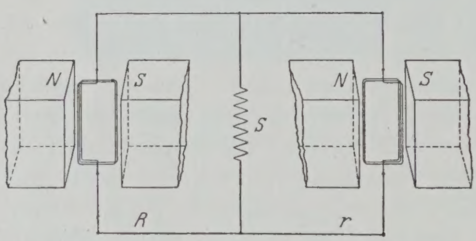
und Grunmach ebenfalls diese Art der Registrierung ausgebaut. Letzterer hat 1909 bereits optische und elektromagnetische Vergrößerung angewendet. Allerdings hatte das verwendete Galvanometer eine sehr kurze Periode und war daher für Bebenregistrierungen mit Perioden von mehr als 1 sec wenig geeignet. Galitzin hat dann 1911 nicht nur ein ähnliches Instrument entwickelt, sondern auch eine nahe alles umfassende Theorie seines Instrumentes gegeben. Er vernachlässigte aber die Rückwirkungen des Galvanometers auf das Seismometer. Bei den von ihm verwendeten relativ großen Massen mag das ohne weiteres zulässig sein. Wenner verwendet jetzt aber Massen von weniger als 1 kg. Hier machen diese Effekte schon etwas aus, und Wenner gibt dieserhalb eine Theorie der Seismometer, die alle diese Fehlerquellen miterfaßt. Auch die Einflüsse der elektromagnetischen Dämpfung werden von ihm untersucht. Die von ihm angenommenen Vereinfachungen sind allerdings noch ziemlich einschränkend, dürften aber für sein Instrument zu vernachlässigen sein. Er nimmt an, daß die elektrischen Ströme mit den sie erzeugenden elektromotorischen Kräften trotz der Selbstinduktion der Kreise in Phase sind, daß die Einflüsse der Luftreibung proportional der Relativgeschwindigkeit der bewegten Apparatteile bleiben und endlich, daß die Hysteresiseffekte zu vernachlässigen sind. Alle elektrischen und elektrodynamischen Effekte sind hingegen streng berücksichtigt.

Nach Wiedergabe der in Frage kommenden elementaren elektrodynamischen und elektromagnetischen Beziehungen wird auf den kombinierten Effekt der durch die Art der elektromagnetischen Vergrößerung geforderten Zusammenschaltung von Seismometer und Galvanometer speziell in bezug auf die elektromagnetische Dämpfung des Systems eingegangen. Die Vorteile der Einführung eines Shuntes werden ausführlich erläutert. Das System erhält damit das in der Abbildung dargestellte Aussehen.

Durch Einsetzen der abgeleiteten Beziehungen in die Bewegungsgleichungen ergibt sich dann allgemeine Differentialgleichung für das Seismometer in einer gegenüber den bisher bekannten Beziehungen erheblich vervollständigten Form

$$\frac{\partial^4 \theta}{\partial t^2} + m \cdot \frac{\partial^3 \theta}{\partial t^3} + n \cdot \frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} + o \cdot \frac{\partial \theta}{\partial t} + p \cdot \theta = q \cdot \frac{\partial^3 X}{\partial t^3}.$$

In dieser linearen Differentialgleichung vierter Ordnung stellen $m$, $n$, $o$, $p$ und $q$ konstante Koeffizienten dar, die von den Konstanten des Gesamtinstrumentariums abhängen. Eine allgemeine Lösung derselben läßt sich nicht geben.




Brückenschaltung des Seismometers nach Wenner (links der Seismometerzweig, rechts der Galvanometerzweig).

Im weiteren Teil der Arbeit wird dann eine Teillösung der allgemeinen Seismometergleichung für den Fall, daß der Untergrund periodische Schwingungen durchführt, abgeleitet, um zu zeigen, wie die Vergrößerung und der Phasenwinkel von den Konstanten des Seismometers, denen des Galvanometers, des Brückenwiderstandes und der Periode der Schwankungen abhängen.

Die durchgeführte Rechnung gestattet dem Verfasser ein Seismometer einfachster Konstruktion zu bauen, dessen Grundidee durch die Abbildung wiedergegeben ist. Speziell wird keine Anordnung von Dämpfungsmagneten mehr benötigt, da die Dämpfung sowohl des Galvanometers als auch des Seismometers durch die Brückenschaltung des Shuntes reguliert werden kann.

Einzeldarstellungen über die Vergrößerung und den Phasenwinkel früherer und jetziger Konstruktion in Abhängigkeit von der Periode der Erdverlagerungen schließen die Ausführungen.

*P. Duckert.*

## Über die Tiefenschärfe photographischer Objektive unter besonderer Berücksichtigung der Mikrophotographie (Vergrößerung).

*Von* Heinrich Schneider-Wetzlar, *Central-Ztg. f. Opt. u. Mech.* **50.** *S. 169—173. 1929.*

Es werden auf streng mathematischem Wege, ohne Vereinfachungen oder Kürzungen, die geometrischen Beziehungen für die Abbildungstiefe im Objektraum hergeleitet. Es bedeuten: $a_e$ die Entfernung des scharf eingestellten Objekts, $a_v$ die Entfernung des nach vorn (zum Objektiv hin)

bestehenden Grenzpunktes der Tiefe, $a_h$ die Entfernung des nach hinten gelegenen Grenzpunktes der Tiefe, sämtlich von der objektseitigen Hauptebene gezählt; ferner bedeuten: $B$ die eingestellte Blendennummer (Reziprokum des Öffnungsverhältnisses), $f$ die Brennweite und $Z$ den zulässigen Zerstreuungskreisdurchmesser. Dann gilt:

$$\left.\begin{array}{ll} \text{Tiefe nach vorn:} & a_v = \dfrac{a_e f^2}{f^2 + Z B (a_e - f)} \\ \text{Tiefe nach hinten:} & a_h = \dfrac{a_e f^2}{f^2 - Z B (a_e - f)} \end{array}\right\} \text{von der Hauptebene gezählt.}$$

Soll die Tiefe nach hinten bis $\infty$ reichen, so ist $a_h = \infty$, also $f^2 - Z B (a_e - f) = 0$; d. h. für die Einstellentfernung $a_e$ und weiter für $a_v$ ergibt sich:

$$a_e = \frac{f(f + Z B)}{Z B}$$

$$a_v = \frac{f(f + Z B)}{2 Z B} = \frac{a_e}{2}.$$

Nach diesen Formeln ergeben sich Tiefenschärfen-Tabellen, wenn man für $Z$ einen geeigneten Wert einsetzt. Der Verf. setzt als zulässigen Zerstreuungskreisdurchmesser für photographische Platten 0,1 — 0,05 mm, für Filme $^1/_{30}$ mm.

Von besonderem Interesse ist noch die Frage: Welche Tiefe hat ein Objektiv für ein Vergrößerungsverhältnis $V$? Die strenge Rechnung liefert:

$$a_v = \frac{f^2 (V + 1)}{f V + Z B}$$

$$a_h = \frac{f^2 (V + 1)}{f V - Z B}.$$

Die Tiefe $T = a_h - a_v$ ist dann (bei Vernachlässigung des Faktors mit $Z^2$):

$$T = \frac{2 Z B (V + 1)}{V^2}.$$

Die zur Einhaltung einer bestimmten Tiefe erforderlichen Abblendung ergibt sich aus:

$$B = \frac{T V^2}{2 Z (V + 1)}.$$

Beispiele:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1. | $Z = {}^1/_{30}$ mm; | $V = 3$ ; | $B = 4{,}5$; | $T = 0{,}133$ mm. |
| | | | $B = 9$; | $T = 0{,}267$ mm. |
| 2. | $Z = {}^1/_{30}$ mm; | $V = 50$; | $B = 3{,}0$; | $T = 0{,}004$ mm. |
| 3. | $Z = {}^1/_{30}$ mm; | $V = 30$; | $B = 4{,}5$; | $T = 0{,}01$ mm. |

*Flügge.*

## Die Beziehungen zwischen Flächenhelligkeit und optimalem Gesichtsfeld in Beobachtungsinstrumenten.

(*The relations between field illumination and the optimum visual field for observational instruments.*)
*Von* L. C. Martin und T. C. Richards. *Transact. Opt. Soc.* ***30.*** *S. 22—33. 1928—1929.*

Es wird gezeigt, daß unter gewissen Bedingungen, wenn nämlich relativ dunkle Objekte inmitten heller Umgebung mit einem Fernrohr beobachtet werden, vorteilhaft verfahren wird, wenn der Durchmesser oder die periphere Helligkeit des Gesichtsfeldes verringert werden. Diese Tatsache wurde eindeutig durch Laboratoriumsversuche bewiesen, die darin bestanden, daß statistische Feststellungen an zahlenmäßig ausgewerteten Beobachtungsobjekten mittels Binokel von veränderlicher Gesichtsfeldgröße erhoben wurden. Andererseits bewiesen die Versuche, daß bei geringer Flächenhelle oder wenn das Objekt heller als die Umgebung ist, gerade ein großes Gesichtsfeld von Vorteil ist. Von einer physiologischen Diskussion der Erscheinung wird absichtlich abgesehen, nur soviel wird gesagt, daß sich wiederum bestätigt, daß die kürzeren Wellenlängen bei gleicher visueller Helligkeit hinsichtlich der Raumwahrnehmung wirkungsvoller sind. Wenn die peripheren Teile des Gesichtsfeldes durch ringförmige Gelbfilter abgeblendet werden, so ist dies gleichbedeutend mit einer vollständigen Abblendung des Randes. *Flügge.*

## Absolute Methoden der Reflexionsmessung.

*(Absolute methods in reflectometry.)*

*Von* H. J. McNicholas, *Bur. of Stand. Journ. of Research* **1.** *S. 29—73. 1928.*

Die reflektometrischen Methoden von Sharp und Little, von Karrer und von Taylor benützen zur Herstellung einer vollständig diffusen Beleuchtung eine Ulbrichtsche Kugel. Das Objekt bildet einen kleinen Teil der Innenwand der Kugel, und die Messung besteht darin, daß die Helligkeit des Objektes mit der Helligkeit der Kugelwand verglichen wird. Kommt es auf die Feststellung absoluter Werte an, so muß man ganz sicher sein, daß die beobachtete Helligkeit der Kugelwand ein genaues Maß für die Gesamtbeleuchtung des Objektes ist. Das ist jedoch nur dann der Fall, wenn für die Reflexion an den Kugelwänden das Kosinusgesetz der Emission gilt.

Da diese Voraussetzung für kein bekanntes Material zutrifft, wurde eine Vorrichtung gebaut, die eine vollständig diffuse Beleuchtung mit beliebiger Genauigkeit herzustellen gestattet. Eine Halbkugelschale aus Milchglas (Glasdicke 1,5 bis 3,0 mm) wird von außen durch eine größere Anzahl von kleinen Glühlampen beleuchtet. Das ebene Objekt befindet sich in der Mitte der Basisebene der Halbkugel. Von ihrem Mittelpunkt aus betrachtet soll die Halbkugel gleichmäßig hell erscheinen. Es ist die Möglichkeit vorgesehen, die Helligkeit einer bestimmten Stelle der Halbkugel mit der Helligkeit an anderen Stellen zu vergleichen. Durch Änderung der Stromstärken in den einzelnen Lampenstromkreisen und der Entfernung einzelner Lampen von der Milchglasschale kann man eine ausreichende Gleichmäßigkeit erreichen.

Die Messung besteht in dem photometrischen Vergleich der Helligkeit einer bestimmten Stelle der Milchglashalbkugel mit den Helligkeiten, die das Objekt unter verschiedenen Beobachtungsrichtungen zeigt. Als Messungsergebnis erscheinen zunächst die scheinbaren Reflektanzen; aus ihnen lassen sich durch Bildung gewisser Integralmittelwerte die absoluten Werte der Reflektanzen für jede Art der Beleuchtung, von der gerichteten angefangen bis zur vollständig diffusen, leicht berechnen.

Das beschriebene Gerät ist somit ein absolutes Reflektometer allgemeinster Art, dessen Wirkungsweise keinerlei unsichere Annahmen zugrunde gelegt sind. Es wurden mit ihm eine Anzahl von Objekten untersucht, deren Auswahl so getroffen war, daß sie möglichst verschiedene Grade des Reflexionsvermögens und der Abweichung vom vollständigen Diffusor darstellten.

Mit diesen, gewissermaßen geeichten Objekten wurde dann ein Kugelreflektometer untersucht, um die Bedingungen festzustellen, denen ein derartiges Instrument genügen muß, um auch für absolute Messungen brauchbar zu sein. Bei Einhaltung dieser Bedingungen kann man dann erreichen, daß sich die Meßergebnisse lediglich um einen konstanten Faktor von den absoluten Werten unterscheiden. Nach Feststellung dieses Faktors, d. h. nach Eichung des Instrumentes, ist es auch für absolute Messungen brauchbar. *Korfanty.*

## Die Fehler eines reflektierenden Prismas.

*(The errors of a reflecting prism.)*

*Von* T. Y. Baker. *Transact. Opt. Soc.* **29.** *S. 133—141. 1927/28.*

Ein Prisma mit zwei reflektierenden Flächen, wie solche in optischen Instrumenten mannigfache Verwendung finden, gibt Anlaß zu gewissen Fehlern des Strahlenganges einerseits durch ungenaue Anbringung der Winkel, andererseits durch ungenaue Montierung im Instrument. Die Wirkungen dieser Ungenauigkeiten werden untersucht. *Flügge.*

## Über Aufnahmen der Sonne durch Ultraviolettstrahlen und Fluoreszenslicht.

*Von* H. Strebel. *Sitzungsber. d. Bayr. Akad. d. Wiss., math.-naturwiss. Abt. 1928. Heft III. S. 367—374. m. 3 Tafeln.*

Auf seiner Privatsternwarte hat sich der Verf. ein Instrumentarium zum Studium der Ultraviolettstrahlung der Sonne geschaffen. Als Hauptinstrument wird ein kleiner Spiegel — 20 cm Durchmesser? — von 9,4 m Brennweite, der ein Fokalbild der Sonne von ca. 9 cm Durchmesser entwirft, benutzt. In den Strahlengang wurde ein Ultraviolettfilter der Quarzlampengesellschaft-Hanau eingeschaltet, das das sichtbare Spektrum zwischen den Frauenhoferlinien *B* und *H* vollständig

absorbierte, jedoch im ultraroten und ultravioletten Teil sehr gute Durchlässigkeit aufwies. Die auf einen Zinksulfitschirm entworfenen Bilder zeigten die Sonnenflecken deutlich in ihren Einzelheiten, während die Granulation wegen der Struktur der Schirmoberfläche nicht scharf gezeichnet wurde. Nachdem auf den Fluoreszenzbildern Leuchterscheinungen festgestellt waren, die im gewöhnlichen Licht nicht auftraten, wurden mit Hilfe des Filters auf Diapositivplatten bei Belichtungszeiten von $^1/_{50}$—$^1/_{100}$ sec. Aufnahmen gewonnen, die zahlreiche Einzelheiten zeigten. Die Ultraviolettaufnahmen zeigen die Granulation und Fackeln, die bei Aufnahmen im gewöhnlichen Licht nur in der Sonnenmitte bzw. am Rande hervortreten, über das ganze Bild. Ebenso treten leuchtende Gebilde in nächster Nähe der Flecken stark hervor, wie auch viele andere Einzelheiten auf der Sonnenoberfläche durch ausgesprochene Zeichnung bzw. Kontraste.

Zur Steigerung der Kontrastzeichnung bei den Aufnahmen, werden die an sich schon im ultravioletten Licht fluoreszierenden bzw. phosphoreszierenden Platten in stark fluoreszierenden Flüssigkeiten gebadet und für Fluoreszens- bzw. Phosphoreszensreize empfindlicher gemacht. Es ergaben sich mit diesen Platten Bilder, die den besten monochromatischen Aufnahmen gleichkamen. Es gelang mit dem Aufnahmeverfahren ohne Zuhilfenahme eines Spaltes und spektrale Zerlegung des Lichtes Formgebilde auf der Sonnenoberfläche aufzunehmen bzw. isolieren, die bisher monochromatischen Aufnahmen vorbehalten erschienen. Bei der Diskussion der Abbildungseinzelheiten schließt der Verf., daß der Wert der Bilder nach seinem Verfahren einen Übergang bildet zwischen Anfnahmen in monochromatischem und in gewöhnlichen Licht, daß aber der Einfluß der Photosphäre bei der Abbildung vorherrscht. Bemerkenswert ist der Umstand, daß die sogenannte „schlechte Luft“ die Ultraviolettaufnahmen nicht wesentlich beeinträchtigt.

Der Vorteil des Verfahrens ist der, daß es einen Weg eröffnet mit verhältnismäßig geringem Aufwand an Instrumenten eingehendes Studium der Sonnenprobleme zu ermöglichen. Über weitergehende Folgerungen aus seinen mit O. Koebke zusammen gewonnenen Beobachtungsergebnissen behält sich Verf. spätere Mitteilung vor. Drei zum Teil vergrößerte Reproduktionen von Sonnenaufnahmen nach dem beschriebenen Verfahren sind eindrucksvolle Belege für die Untersuchungen des Verfassers. *W. Keil.*

## Ein Chronograph hoher Präzision.

*Von* P. Lejay, *D. Uhrm.-Ztg.* **53.** *S. 624—626; 694—698. 1929.*

Physik und Technik verlangen mit zunehmender Dringlichkeit Geräte, die es gestatten, Vorgänge und Erscheinungen kurzer Dauer auf mehr als $^1/_{100}$ s genau messend zu verfolgen. Verstreut in der Literatur des letzten Jahrzehnts sind eine ganze Anzahl von Apparaten beschrieben worden, die sich für Sonderzwecke als Zeitmeßgeräte hoher Genauigkeit erwiesen haben, ohne daß jedoch eine allgemein befriedigende Lösung dieses wichtigen instrumentellen Problems gefunden worden sei.

Wie der Verfasser im Untertitel seiner Arbeit: Eine Untersuchung über die Unregelmäßigkeiten astronomischer Pendeluhren mit Kontakten, angibt, hatte er besondere Ziele im Auge, deren Verfolgung sehr zeitgemäß und außerordentlich wichtig ist. Dazu hat er sich in Ermangelung eines sonst geeigneten, ein neues Gerät entwickelt, über das hier berichtet werden soll. Die besonderen Ziele stellten an das Gerät folgende Anforderungen: Genauigkeit der Ablesung $1 \times 10^{-4}$ s, einfacher Bau, einfache Ablesung bei photographischer Registrierung.

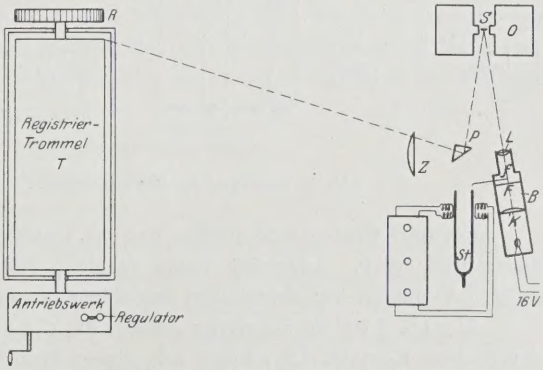


Abb. 1. Skizze des Chronographen.

Der Bau der Anordnung, die das Gerät darstellt, wird aus der in der Abb. 1 gegebenen Prinzipskizze ersichtlich.

Auf der mit lichtempfindlichen Papier belegten Registriertrommel $T$ zeichnet ein Lichtstrahl eine schraubenlinig verlaufende Spur. Dabei ist die Ganghöhe der Schraubenlinie regelbar. Die

Stimmgabel *St* schirmt im Takt ihrer Frequenz für einen Bruchteil der Schwingungsdauer den Lichtstrahl ab, so daß die Lichtspur regelmäßige Unterbrechungen aufweist. Durch besondere Regelvorrichtungen wird die Drehzahl der Trommel, die normalerweise 2 pro Sec. beträgt, sehr konstant gehalten, so daß zwei benachbarte Marken mindestens auf $^1/_{10}$ mm genau sind.

Die sorgfältig durchdachte Anordnung baut sich im einzelnen wie folgt auf. Wie die Abbildung erkennen läßt, wird das zur Registrierung erforderliche Lichtbündel, das eine Lampe für 16 V bei einer Belastung mit 4 A erzeugt, durch den Kondensor *K* auf dem regelbaren Spalt *F* konzentriert, von da durch die Linse *L* auf den Oszillographenspiegel *S* geworfen. Von letzterem reflektiert durchsetzt das Strahlenbündel das total reflektierende Prisma *P* und wird durch die Zylinderlinse *Z* in einem punktförmigen Bild auf der Registriertrommel *T* abgebildet. Ein durch Windflügelregulator in gleichmäßigem Gang gehaltenes Hilfsuhrwerk — nicht gezeichnet — dreht das Prisma *P* um seine vertikale Achse. Diese einfache Einrichtung bewirkt, daß die Lichtspur auf der Trommel in Schraubenlinie verläuft. Ein vor der Trommel angebrachter horizontaler Spalt von $^1/_{10}$ mm Breite — nicht gezeichnet — blendet aus dem Bild des Strahlenbündels ein schmales Band aus, wodurch die Genauigkeit erheblich gefördert wird. Der verwendete Oszillograph *O* vom Typ Blondel zeichnet sich durch geringe Trägheit des an einem aus dünnen gespannten Silber- oder Bronzedraht gebildeten Spiegelgehänges aus. Die Eigenperiode des schwingenden Spiegels beträgt sehr nahe $^1/_{10000}$ s. Das ganze schwingende System taucht zur Dämpfung in ein Ölbad. Es ist angeordnet im Luftspalt eines starken Elektromagneten und erzeugt in einer Entfernung von 1 m eine Strahlenablenkung von 5 cm/mA. Das Magnetfeld wird durch einen Strom von 1 A von 20 V Spannung oder 0,2 A bei 110 V unterhalten. Als Antriebsquelle für die Registriertrommel dient entweder ein Uhrwerk oder ein Elektromotor, wobei besondere Vorkehrungen für Gleichmäßigkeit der Drehung sorgen. Das Zahnrad *R* mit 50 Zähnen, das auf der Trommelachse befestigt ist, dient zur stroboskopischen Geschwindigkeitsreglung. Die Röhrenstimmgabel *St* trägt den Rahmen *f* — in der Abbildung im Grundriß nur als Strich zu erkennen — der in das Beleuchtungsrohr *B* hineinragt. Auf dem Rahmen ist ein feiner Draht gespannt, der bei jeder Gabelschwingung für Bruchteile von $^1/_{1000}$ s den vertikalen Spalt abdeckt. Entsprechend der Gabelfrequenz wird somit die Lichtspur sehr nahe alle $^1/_{100}$ s unterbrochen. Durch geeignete Verstellung des Prismas *P* kann das Lichtbündel auf das Zahnrad *R* geworfen werden, an dem dann das stroboskopische Bild des von der Gabel gehaltenen Drahtes sichtbar wird, das durch Verstellung des Reglers am Trommelantriebswerk zum Stehen gebracht wird. Ist das erreicht, dann macht die Trommel zwei Umdrehungen in sehr nahe einer Sekunde. Die Regelung erweist sich als sehr nachhaltig, so daß das Auszählen der Marken und das Auswerten der Aufzeichnung des Gerätes sich sehr einfach gestaltet.

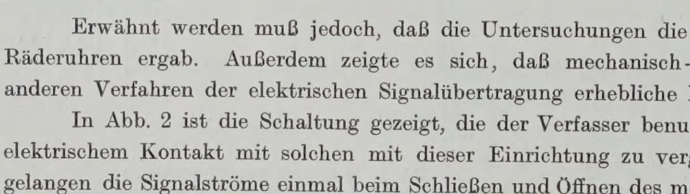



Abb. 2. Schaltung des Chronographen.

Mit diesem Gerät hat der Verf. verschiedene Uhren, die ihm das *Bureau International de l'heure* zur Verfügung stellte, untersucht, und gelangt zu sehr lehrreichen Aufschlüssen, hinsichtlich der auf die Originalarbeit verwiesen wird.

Erwähnt werden muß jedoch, daß die Untersuchungen die Überlegenheit freier Pendel über Räderuhren ergab. Außerdem zeigte es sich, daß mechanisch-elektrische Kontakte gegenüber anderen Verfahren der elektrischen Signalübertragung erhebliche Nachteile mit sich bringen.

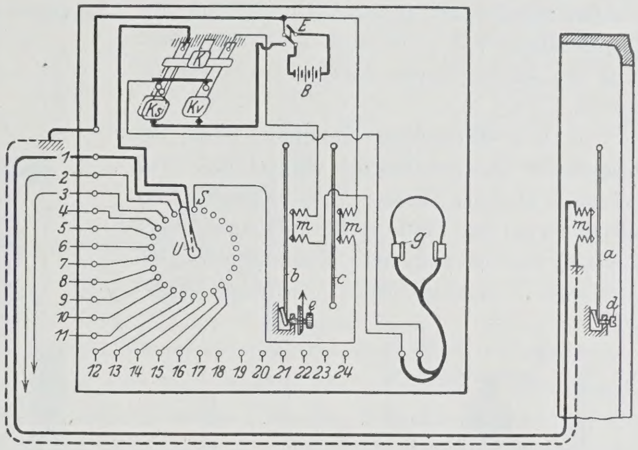
In Abb. 2 ist die Schaltung gezeigt, die der Verfasser benutzt, um Pendel ohne mechanisch-elektrischem Kontakt mit solchen mit dieser Einrichtung zu vergleichen. In den Oszillographen gelangen die Signalströme einmal beim Schließen und Öffnen des mechanisch-elektrischen Kontaktes der astronomischen Pendeluhr, das andere Mal der Anodenstromstoß der letzten Verstärkerstufe, die mit dem freien Pendel verbunden ist, wenn das Pendel die Vertikallage passiert und dabei durch Erhöhung der Kapazität im Gitterkreis der Senderröhre ein Hochfrequenzsignal auslöst.

Das Gerät ist selbstverständlich auch für andere Zwecke brauchbar. *W. Keil.*

## Akustischer Dehnungsmesser.

*Von* Kurrein. *Werkstattstechnik.* **23.** *S. 541—542. 1929.*

Die beschriebene Einrichtung, die es gestattet, Dehnungen an Bauten, Eisenkonstruktionen ınd Maschinen zu messen, ist geeignet, einen sehr fühlbaren Mangel in instrumenteller Hinsicht u beseitigen. Die von O. Schaefer angegebene Anordnung, gebaut von H. Maihak-Hamburg, enutzt zur Messung die Veränderung der Tonhöhe einer an dem zu untersuchenden Objekt beestigten, auf einen bestimmten Ton abgestimmten Stahlsaite. Aus der Änderung der Tonhöhe ler Meßsaite, die mit Hilfe einer Vergleichssaite oder unmittelbar mit einer Stimmgabel akustisch estimmt wird, lassen sich Längen- und Spannungsänderungen des Objekts genau ermitteln.




Von der Meßstelle führt eine lektrische Leitung zum Kopfhörer n der Prüfstelle, an der wahlweise is zu 24 Meßstellen nacheinander bgehört werden können. Aus der ebenstehenden Abbildung, die das chaltschema des Dehnungsmessers larstellt, wird die Wirkungsweise les Geräts und seine Handhabung eicht verständlich. In der Abbilung bedeutet *a* die Meßsaite, die nittels der Schraube *d* abgestimmt verden kann. Der Saite *a* gegenber ist der Magnet *m* angeordnet, ler von der Prüfstelle aus bei entprechender Stellung des Wahlschalters *U* durch Betätigen des Druckknopfes *Ks* erregt wird und lie Saite zum Schwingen bringt, sobald *Ks* wieder freigegeben wird. Die Saite beeinflußt jetzt ihrereits das Feld des Dauermagneten *m* im Rhythmus ihrer Eigenfrequenz. Wie das Schema erkennen äßt, fließt der induzierte Strom durch den Kopfhörer, so daß der Ton der Saite *a* hörbar wird. Vie *a* wird die Vergleichssaite *b* durch die Schraube *e* abgestimmt und in gleicher Weise durch etätigen des Druckknopfes *Kv* angeregt. Der Anschluß *S* dient der Umschaltung auf die Normalaite, die in der Abbildung mit *c* bezeichnet wird, jedoch bei der neueren Bauweise in Wegfall ommt, da die Stimmgabel unmittelbar als Normal benutzt wird. Den erforderlichen Erregerstrom efert die abschaltbare — Schalter *E* — Batterie *B*. Als Meßton wird der Ton $d_2$ benutzt, auf en die Vergleichssaite *b* ebenso wie die Meßsaite *a* abgestimmt sind. Es braucht dann nur noch für ede Saite die Abhängigkeit der Tonhöhe von der Spannung, der sogenannte Kennwert, bekannt zu ein, der mit Hilfe einer besonderen Feinmeßeinrichtung ermittelt wird, und die Änderung der 'onhöhe der schwingenden Meßsaite *a* stellt ein genaues Maß dar für die Dehnungen, denen das leßobjekt während der Messung ausgesetzt wird bzw. für die Längenänderungen, die bleibend ingetreten sind.

*W. Keil.*

## Ein empfindliches Mikromanometer.

*(A sensitive micromanometer.)*

*Von* J. L. Hodgson, *Journ. of scient. instr.* **6.** *S. 153—156. 1929.*

Der Verfasser hat ein tragbares und widerstandsfähiges aber trotzdem sehr empfindliches likromanometer für den Gebrauch unter Tag — zur Kontrolle der Wetterführung — gebaut, das uch für andere Zwecke geeignet erscheint. Wie aus der schematischen Abb. 1 ersichtlich wird, esteht das Instrument aus der Verdrängungskammer *A*, die Öl oder eine andere geeignete Flüssigeit enthält und mit dem geneigten Meßglas *B* in Verbindung steht. Das Glasrohr *B* ist so an em Gefäß angebracht, daß der Flüssigkeitsmeniskus in ihm ungefähr in der Mitte liegt, wenn er Druck an den Punkten $P_1$ und *P* gleich ist. Entsteht zwischen $P_1$ und *P* eine Druckdifferenz, ) bewegt sich der Meniskus; er kann jedoch durch Verstellung des Verdrängers *H* in die Normalullage zurückgebracht werden. Der Betrag der Verstellung des Verdrängers wird mit Hilfe der kalenscheibe *F* und der Vertikalskala ermittelt. Da der Querschnitt des Verdrängers sehr klein

gewählt werden kann und auch eine sehr feingängige Stellschraube verwendet werden darf, wi die Messung sehr geringer Druckdifferenzen möglich. Wesentlich für die Meßgenauigkeit sind dab aber die Genauigkeit, mit der die Lage des Meniskus abgelesen werden kann, und die Ausschaltu von Temperaturänderungen während der Messung. Während für geringere Genauigkeitsansprüc eine einzelne Meßmarke am Meßglas und gewöhnliche Zapfenhähne ausreichen, werden für höhe Ansprüche absolut dichtende lederarmierte Hähne von großem Querschnitt ebenso wie therm statischer Einbau der Kammer und Druckleitungen von großem Querschnitt notwendig. Außerde müssen merkliche Niveauunterschiede zwischen Instrument und Meßort vermieden werden. M Hilfe des Ablesemikroskops $M_i$, das 60fach vergrößert, kann der beleuchtete Meniskus in d 12,5 mm Durchmesser aufweisenden Meßröhre auf 2,5 μ genau abgelesen werden. Bei einer Neigu des Meßglases von 1 : 10 kann noch eine Änderung des Ölspiegels von 0,25 μ leicht abgelesen werden.

Abb. 2 stellt einen Querschnitt durch die ausgeführte Konstruktion des Gerätes dar. Vor Gebrauch wird das Gerät bei geschlossenen Einlaßhähnen auf dem Stativ eines Grubentheodoliten sorgfältig wagrecht aufgestellt. Dann wird das Ausgleichsrohr — nicht gezeichnet — geöffnet, der Meniskus im Meßglas durch Verstellung des Verdrängers *H*, was mittels der Kordelschraube *G* geschieht in die Normallage gebracht und bei festgehaltener Kordelschraube *G* die mit Reibung auf ih sitzende Skalenscheibe *F* auf Null gestellt. Hierauf wird der Ausgleichshahn geschlossen und di Einlaßhähne — nur *C* ist gezeichnet — geöffnet. Die Kordelschraube *G* wird sodann solange g dreht, bis der Meniskus in die Normalstellung zurückkehrt. Der Betrag der Drehungsbruchteil wird mit Hilfe eines Nonius auf $^1/_{1000}$ an der Skale *F* abgelesen, während die vollen Umdrehunge von der friktionsgekoppelten Trommel *L* angezeigt werden, die die Vertikalskale der Abb. 1 ersetz Dem Betrag von $^1/_{1000}$ Umdrehung der Skale *F* entspricht bei großem Verdrängerquerschnitt ein Druckdifferenz von 2,5 μ W.-S., bei kleinem Querschnitt einer solchen von 0,25 μ W.-S. Zur Ve meidung von Fehlern, die durch toten Gang der Schraubenspindel *J* hervorgerufen werden könnten wird letztere durch eine federnde gewölbte Stützscheibe gegen die Stahlkugel, die das Lager i Gefäßboden bildet, gedrückt. Außerdem sind besondere Vorkehrungen getroffen, um das Gewich des Verdrängers auszugleichen und ist das Führungsstück *Q* des Verdrängers *H* vorgesehen, dami letzterer nicht rotiert. Um das Gerät ohne Mikroskop gebrauchen zu können, ist ein Leuchtinde angebracht. Für den Gebrauch unter Tag mit Mikroskop wird unter dem Meniskus eine gekapselt elektrische Lampe angebracht. Zwei empfindliche gekreuzte Libellen, deren eine *M* aus der Abb ersichtlich wird, dienen zur Ausrichtung des Instruments bei der Aufstellung, für welchen Zwec die Fußschraube *P* vorgesehen ist. Zwei dem Aufsatz außerdem beigegebene gute photographisch Reproduktionen unterstützen die gegebene Beschreibung des Geräts sehr wirksam.

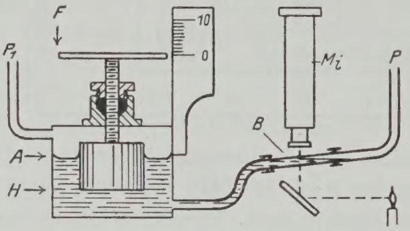


Abb. 1.

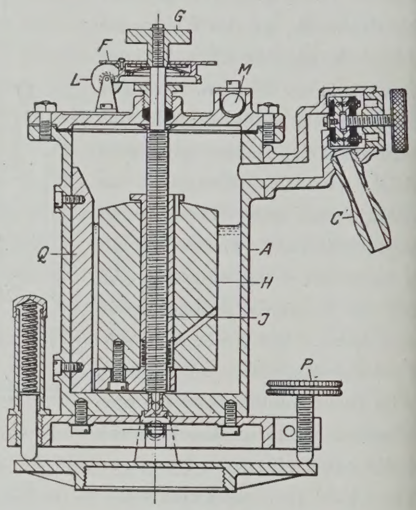


Abb. 2.

*W. Keil.*

## Bimetall.

*Von* W. Rohn, *Zeitschr. f. Metallkunde* **21.** *S. 259—264. 1929.*

In steigendem Umfange finden Bimetallkörper in der Apparate- und Instrumententechnik als Thermometer und als Schaltorgane Verwendung, um Vorgänge bei einer bestimmten Temperatur

ntweder einmal auszulösen oder dauernd zu regeln. Die vorliegende Arbeit, die den Gegenstand mfassend und erfreulicherweise auch sehr eingehend behandelt, wird um so mehr Interesse finden, ls sie dem derzeitigen Stande der Metallforschung und den Ansprüchen, die die Technik heute n Bimetallkörper stellt, entspricht und das Studium einer zerstreuten Literatur überflüssig macht.

Von der Erläuterung der Wirungen des Bimetalls ausgehend beıßt sich der Verfasser mit den zweckıäßig als Komponenten in Betracht ommenden Werkstoffen und gibt in ner Kurventafel eine Darstellung es Verlaufes der Wärmeausdehnung Abhängigkeit von der Temperatur ir verschiedene Metalle und Legieıngen (Abb. 1). Einige nach ihrem hysikalischen Verhalten sehr brauchar erscheinende Werkstoffe werden insichtlich ihrer technischen Eigung besprochen. Verschiedene grundıtzliche Fragen, z. B. die der Eigung der Verbindung eines weichen nd eines harten Metalls zu Bi-

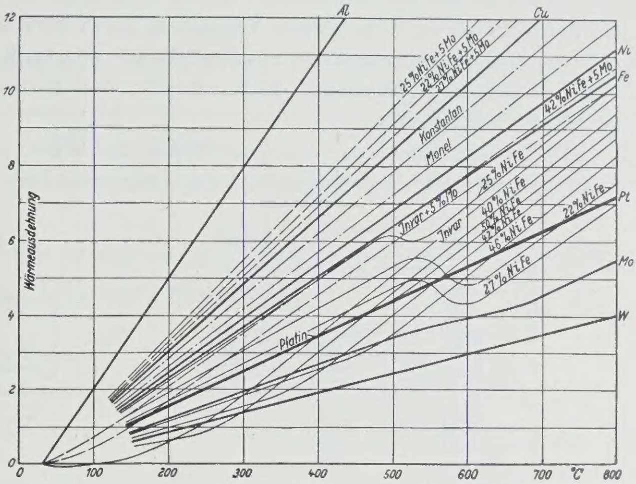



Abb. 1. Wärmeausdehnung verschiedener Metalle und Legierungen.

etallkörpern, wurden experimentell geklärt mit dem Ergebnis, daß derartige Kombinationen, ie die abgebildeten Ausbiegungskurven eindeutig zeigen, höheren Ansprüchen nicht genügen önnen. Nach Ansicht des Verfassers werden zweckmäßig nur Werkstoffe gleicher Festigkeit und öglichst gleicher und hoher Elastizität zu Bietallkörpern verwendet. Diesen Anforderungen enügen Nickel-Eisenlegierungen hohen Nickelgealtes, die Nickel-Kupferlegierung Konstantan und onelmetall. Als Komponente mit hohen Ausdehıngskoeffizienten wird vielfach Nickeleisen mit !—27 % Ni verwendet, deren durch stark ausgeägte Umwandlungspunkte bedingte Mängel durch nen Zusatz von 5 % Mo beseitigt werden. Der o-Zusatz wirkt sich auch dadurch günstig aus, ıß er die Wärmeausdehnung erhöht. In Abb. 2 der Verlauf der Wärmeausbiegung einer Anzahl metallkombinationen in Abhängigkeit von der mperatur dargestellt. Aus dieser Darstellung geht rvor, in welchen Temperaturbereichen bestimmte ombinationen zweckmäßig in Betracht kommen ick gezeichnete Teile der Kurven).

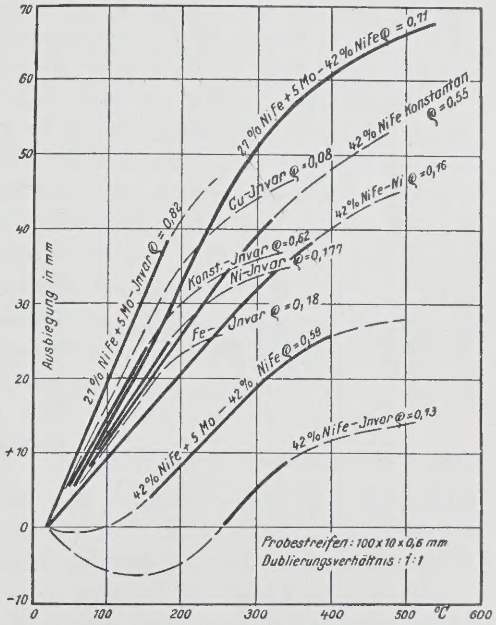



Abb. 2. Wärmeausbiegung verschiedener Bimetalle.

Da Bimetall neuerdings im Apparatebau zur ımittelbaren Heizung durch Stromdurchgang verındet wird, sind Körper erforderlich, die gleiche ıslösungswege und -kräfte bei verschiedenen Stromärken behalten, d. h. Bimetalle verschiedenen ez. Widerstandes bei möglichst gleichen thermischen Eigenschaften. Jeder Kurve in Abb. 2 der für die betr. Kombination geltende spez. Widerstand beigeschrieben. Für Motorenschutzhalter erweist sich als sehr brauchbar ein Bimetallkörper aus Invar-Reinnickel mit einem spez. iderstand von 0,17, der auch hohe Stromstärken anzuwenden gestattet. In einer Tabelle werden spez. Widerstände der untersuchten Bimetalle zusammengestellt.

Der Einfluß der geometrischen Abmessungen des Bimetallkörpers auf den Verstellweg und Verstellkraft ist gegenüber dem der Art des verwendeten Werkstoffes sehr erheblich. Je dünner

der Bimetallkörper ausgewalzt wird, um so größer wird die Ausbiegung; hierfür gibt eine Kurve darstellung des Verhaltens einer bestimmten Kombination einen überzeugenden Beleg, ebenso w eine weitere für die Abhängigkeit der Ausbiegung von der Streifendicke. Zu beachten ist, we großer Verstellweg erzielt werden soll, daß die Verstellkraft des freien Streifenendes proportion der dritten Potenz der Streifendicke ist. Praktisch ist der Erzielung genügend hoher Verstellkr bei dünnen Streifen, d. h. großem Verstellweg durch Verbreitern des Streifens meistens eine Gren gesetzt. Daß mit abnehmender Streifendicke die Empfindlichkeit gegen äußere mechanische Ei flüsse wächst, ist einleuchtend. Dicker Streifen und kleiner Verstellweg des freien Endes ist a gemein vorteilhafter.

Wird ein Bimetallstreifen $n$-mal dicker und $n$-mal länger gemacht, ohne daß die Streife breite geändert wird, so wächst der Verstellweg ohne Änderung der Verstellkraft auf das $n$-fach

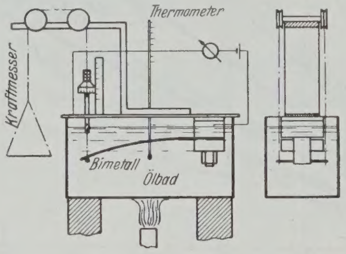



Abb. 3. Bimetall-Prüfgerät.

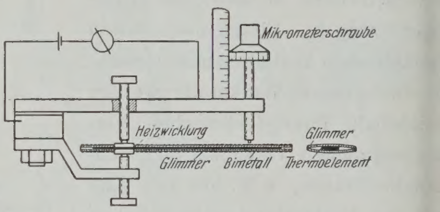



Abb. 4. Bimetall-Prüfgerät für höhere Temperaturen.

Nach Versuchen des Verfassers bleibt der Einfluß der bei Erwärmung naturgemäß eintretende Querwölbung eines Bimetallstreifens auch bei im Verhältnis zur Länge breiten Streifen belanglo Da die exakte Berechnung der zu erwartenden Wirkungen eines Bimetallkörpers durch unbequem Formeln erschwert wird, empfiehlt der Verfasser Überschlagsrechnungen und zur Entscheidung da den besonderen Verhältnissen jeweils angepaßte Experiment. Seine Ausführungen über Versuch und Prüfanordnungen verdienen daher besondere Beachtung.

In den Abb. 3 und 4 sind zwei derartige Geräte wiedergegeben. Bei dem einen Gerät – Abb. 3 — wird der Bimetallkörper in ein heizbares Ölbad versenkt, seine Ausbiegung mikrometrisc gemessen und seine Verstellkraft gewogen, wie im einzelnen aus der Abbildung zur Genüge hervo geht. Für höhere Temperaturen wird eine Widerstandsheizpackung, die auf Glimmer gewickelt is wie Abb. 4 zeigt, über den Bimetallstreifen gesteckt. Die Temperatur wird hier mit Hilfe eine Thermoelementes ermittelt, das zwischen Streifen un Packung eingeschoben wird. Für Vergleichsmessungen i Betrieb ist ein Prüfgerät, wie das in Abb. 5 skizzierte, prak tischer. Hier wird der Bimetallstreifen selbst als Heiz widerstand benutzt und statt der Temperatur der Heiz strom gemessen. Ein Fühlhebelzeiger gestattet, vergrößert Ausbiegungen genau abzulesen.

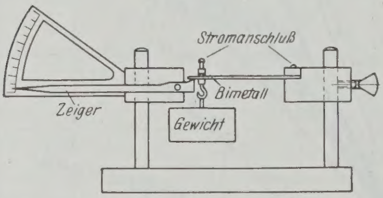



Abb. 5. Bimetall-Prüfgerät für den Betrieb.

Bei der Auswahl der Werkstoffe für die Bimetall komponenten ist erster Grundsatz, daß die einwandfreie Verbindung der Komponenten durcl Schweißen sichergestellt wird. Des weiteren ist unerläßlich, daß die Elastizität durch das Her stellungsverfahren nicht wesentlich beeinträchtigt wird. Werden die Vorsichtsmaßnahmen und Vorschriften eingehalten, die der Verfasser in großer Zahl gibt, dann muß man in dem Bimetall körper ein Organ gewinnen, das auch in Geräten Verwendung finden kann, an die hohe An sprüche hinsichtlich präzisen Arbeitens gestellt werden. *W. Keil.*

## Fehlerberichtigung.

In dieser Zeitschr. **49**. S. 285. 1929, Zeile 12 v. o. sind die Worte „in den Spalten 3 und 4" zu streichen.

Nachdruck verboten.

Verantwortlich für die Redaktion: Oberregierungsrat Professor Dr. F. Göpel in Charlottenburg.
Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

# Zeitschrift für Instrumentenkunde.

*Kuratorium:*

Prof. Dr. **E. Kohlschütter** in Potsdam, Vorsitzender, Prof. Dr. **R. Straubel** in Jena, Prof. Dr. **F. Weidert** in Berlin-Zehlendorf, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

50. Jahrgang. **März 1930.** Drittes Heft.

## Versuchsmessungen über Tage nach dem Prinzip des Breithauptschen Steckhülsenverfahrens.

Von

**E. Harbert** in Braunschweig.

(Mitteilung aus dem geodätischen Institut der Technischen Hochschule zu Braunschweig.)

Für die terrestrische Vorbereitung von luftphotogrammetrischen Aufnahmen in einem zunächst 20 qkm großen Prüffeld, das zur fortlaufenden Untersuchung der Genauigkeit und Wirtschaftlichkeit neuerer luftphotogrammetrischer Aufnahme- und Auswertegeräte im Jahre 1927 am Nordrande des Harzes auf Veranlassung des Beirates für Vermessungswesen eingerichtet wurde, mußten Polygonzüge von größerer Genauigkeit ausgeführt werden.

Außer der Bestimmung der Koordinaten dieser Polygonpunkte waren noch durch gleichzeitige Beobachtung der Höhenwinkel die Koten derselben durch trigonometrisches Nivellement zu ermitteln. Für die exakte Messung der Polygonwinkel kam nur ein „Zwangszentrierungsverfahren“ in Frage, bei dem bekanntlich die Achse des Theodoliten mit den Achsen der Ziele bis auf Bruchteile des Millimeters genau auswechselbar ist.

Nachdem vor einigen Jahren bei umfangreichen Polygonierungen über Tage bereits gute Erfahrungen[1] mit der Zwangszentrierung mittels der Freiberger Kugel (Firma Max Hildebrand in Freiberg i. Sa.) gemacht waren, wurde diese neue Gelegenheit benutzt, um das seit 1840 für markscheiderische Messungen unter Tage von G. Breithaupt in Kassel eingeführte Verfahren der Steckhülseneinrichtung[2] auch in seiner Leistungsfähigkeit bei den Messungen über Tage kennen zu lernen und zu erproben.

Im Gegensatz zu den sonst üblichen und den Bedürfnissen der bergmännischen Messung entsprechenden Grubensignalen wurden hier in Verbindung mit dem Steckzapfen einfache zylindrische Zielstifte mit treppenförmigem Dachabschluß gewählt. Die Konstruktion, welche in gemeinschaftlicher Besprechung zwischen der Firma Breithaupt-Kassel und dem Verfasser für die vorliegende Aufgabe der polygonometrischen Vermessung über Tage in Verbindung mit gleichzeitiger trigonometrischer Höhenmessung verabredet war, soll im folgenden beschrieben werden, und es sollen gleichzeitig Angaben über die Genauigkeitsergebnisse bei Lage- und Höhenmessung und die erzielte Arbeitsleistung gemacht werden.

---

[1] Zeitgemäße instrumentelle Vereinfachungen zur „Freiberger Aufstellung“ bei polygonometrischen Winkelmessungen über Tage. *Diese Zeitschr.* ***46.*** *S. 1—10. 1926.*

[2] Borchers, Praktische Markscheidekunde. S. 271, Berlin 1870.

Bei den örtlichen Messungen stand ein Theodolit der Firma F. W. Breithaup & Sohn zur Verfügung, bei dem sowohl der 12 cm-Horizontalkreis als auch der 8 cm Höhenkreis die gleiche Teilung in 20′ und die Nonienangabe von 30″ hatte. Zur Schutze gegen grobe Ablesefehler, zum mindesten aber nötigenfalls zur späteren häus lichen Aufklärung derselben, trugen beide Kreise in 15⁰ Abstand je einen Hilfszeiger

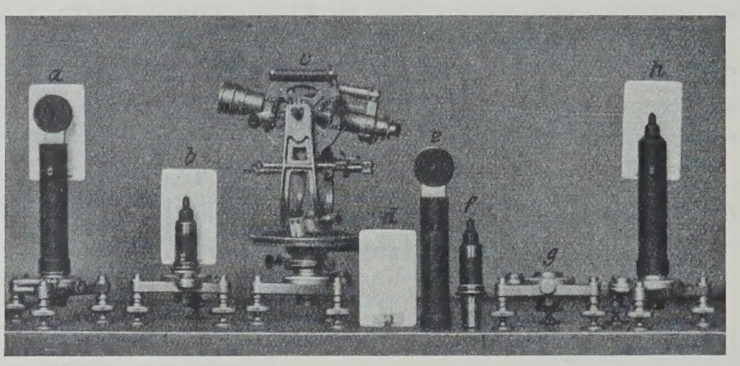



Abb. 1. Einzelteile der Steckhülsenaufstellung.

eine Einrichtung, die bei der Beobachtung in nur 2 Lagen des Fernrohrs immer zu empfehlen ist.

Benutzt wurden auf der Polygonstrecke gleichzeitig 5 Holzstative, die oben Drei füße mit konischer Öffnung (Büchse) (Abb. 1, *g* und Abb. 2) zur Aufnahme entwede des konischen Steckzapfens des Theodoliten Abb. 2 oder der Zielstifte (Abb. 1 *a*, *b*, *f* trugen. Die Dreifüße wurden bei *M* (Abb. 3) mittels de sonst bei der Theodolitbefestigung üblichen Schraubenstange auf der metallenen Stativplatte des Statives angeschraubt und durch Anziehen einer spiraligen Spannfeder gegen Ver schiebung auf der Stativplatte gesichert. Für die ausreichend genaue Zentrierung mit dem Fadenlot trug die Schrauben- stange unten einen Lothaken. Die Stativplatte hatte für be- quemes Zentrieren über dem Erdboden eine kreisförmige Ausbohrung von rd. 6 cm Durchmesser. Die Stellschrauben des Dreifußes *D* (Abb. 3) trugen unten angebügelte Fuß- platten zur Erzielung eines festen Haltes auf der Stativplatte Die Achse *A* (Abb. 3) der konischen Büchse im Dreifuß, die im Idealzustand identisch wäre mit der Stehachse des Theo- doliten und der des Steckzapfens der Signale wurde bei 4 Dreifüßen mittels einer Dosenlibelle gelotet. Zu Versuchszwecken war einer der 5 Drei- füße mit Kreuzlibellen ausgerüstet, was jedoch gegenüber der Einrichtung mit Dosen- libellen durchaus nicht als Vorteil beim Loten der Achse empfunden wurde. Die Lot- rechtstellung mit der Dosenlibelle reichte immer für das Lotrechtstellen der Zielstifte aus. Ein Nachloten der Stehachse des Theodoliten auf dem fertig aufgestellten Dreifuß war in der Regel nur bei steileren Sichten mit den vorhandenen Röhrenlibellen des Theodoliten in geringem Ausmaß vorzunehmen.

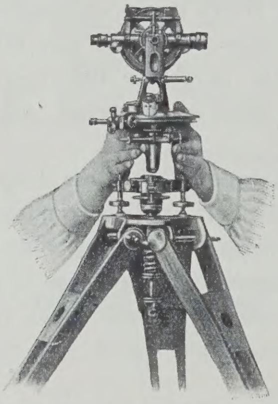


Abb. 2. Einsetzen des Theodoliten in die konische Dreifußöffnung.

Die Einzelheiten der konstruktiven Einrichtung für den im Steckhülsendreifuß aufgestellten Theodoliten gehen aus Abb. 3 hervor. In der Büchse des Dreifußes sitzt zunächst die außen und innen konisch abgedrehte Steckhülse *H*, in derselben wiederum

die gleichfalls außen und innen konisch gedrehte Tülle *B* des Grundkreises und in dieser zuletzt die meistens massive Achse *A* der Alhidade. Die Steckhülse *H* wird durch die Achsenmutter *M* in beweglicher Verbindung mit dem Hohlkonus (Tülle) des Grundkreises und der Alhidade gehalten. Durch die Ringklemme $R_2$, die durch die Klemmschraube $K_3$ betätigt wird, kann die Steckhülse im Dreifuß mittels der Druckstöpsel *S* festgehalten werden. Ebenso wird durch die Ringklemme $R_2$ mittels

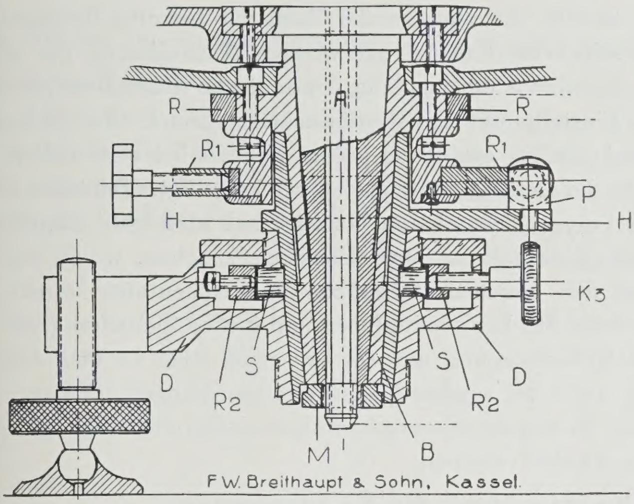



Abb. 3.

*A* Alhidadenachse,
*B* Tülle des Grundkreises,
*D* Dreifuß,
*H* Steckhülse,
*M* Achsenmutter,
*R* Alhidadenklemme,
$R_1$ Grundkreisklemme,
*P* Feinbewegung des Grundkreises,
$R_2$ Ringklemme mit Klemmschraube $K_3$ und Druckstöpseln *S* für die Steckhülse.

der Druckstöpsel *S* der Zielstift im Dreifuß festgehalten. Der Grundkreis (Limbus) kann durch die Ringklemme $R_1$ festgestellt und dann noch durch die Feinbewegung bei *P* in kleinen Grenzen verstellt werden. Zur Klemmung der Alhidade dient die Ringklemme *R*. Bei der Aufstellung des Theodoliten in dem fertig zentrierten und geloteten Steckhülsendreifuß wurde zunächst die Klemme $K_3$ angezogen, dann wurde bei loser Ringklemme $R_1$ der Limbus so orientiert, daß er beim ersten Ziel nahezu die Ablesung Null (Erleichterung für die Rechnung im Felde) gab. Alsdann wurde der Kreis mit $R_1$ festgestellt und nötigenfalls mit den Stellschrauben des Dreifußes die Lotung der Alhidadenachse verbessert.

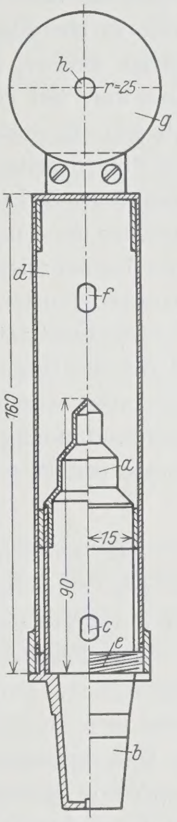



Abb. 4. Zielstift mit Scheibensignal.

*a* abgedreppter Zielstift,
*b* Steckzapfen,
*c* Aufnahmeöffnung für die Hintergrundtafel,
*d* zylindrisches Scheibensignal,
*e* Verschraubung,
*f* Aufnahmeöffnung wie *c*,
*g* schwarze Kreisscheibe,
*h* Mittelpunkt von *g* in Kippachsenhöhe.

Für die eigentliche polygonometrische Winkelmessung wurden die Zielstifte der Abb. 1, *b*, *f*, und der Abb. 4 benützt. Das zylindrische Signal ist mit Rücksicht auf die bessere Einstellungsmöglichkeit bei wechselnder Zielweite in den Polygonseiten oben dachförmig abgetreppt (Abb. 4 *a*) gedreht und stellt mit dem Steckzapfen (Abb. 4 *b*) ein einziges Gußstück dar. Das Signal ist tief schwarz mattiert und trägt bei *c* eine Öffnung zur Aufnahme des Halters für eine weiß lackierte, rechteckige Tafel aus Metall (Abb. 1, *b*, *d*), die hinter dem Signal aufgestellt die Beobachtung des schwarzen Zielstiftes auf weißem Grunde wesentlich erleichtert und die Genauigkeit der Einstellung

verschärft. Um bei der Messung der Zenitdistanzen für die Zwecke der trigonometrische Höhenberechnung die Zielungen in Gegensicht von Standpunkt zu Standpunkt vor nehmen zu können, wurde dem Zielstift Abb. 1 *b* und Abb. 4 *a* ein rundes Scheiben signal (Abb. 1 *a*, *e* und Abb. 4 *d*) als Ergänzungsstück beigegeben, das sich über de Zielstift *a* stülpen und bei *e* aufschrauben läßt, so daß der Mittelpunkt *h* der kreis förmigen schwarzen Scheibe *g* mit 50 mm Durchmesser genau in Kippachsenhöhe de Theodoliten über dem Stativkopf lag. Auch hinter diesem Scheibensignal (Abb. 4 *d* konnte in eine Ausbohrung *f* dieselbe metallene weiße Tafel zur besseren Beobachtun befestigt werden, so daß ein schwarzer Kreis *g* auf weißem Hintergrunde gut einzu stellen war. Bei ganz kurzen Zielweiten erschien die 5 mm starke runde Durchbohrun (Abb. 4 *h*) als weißer scharfer Einstellpunkt auf dunklem Hintergrund. Für besonder lange Polygonseiten war vorsichtshalber ein etwas größerer, auch bei *e* in Abb. 4 auf schraubbarer Zielstift (Abb. 1 *h*) der Gerätezusammenstellung beigefügt. Derselbe wurd jedoch bei Messungen in den Polygonzügen kaum benützt, hat aber gute Dienste ge leistet bei der trigonometrischen Einschaltung eines Kleindreiecksnetzes, wo die trigono metrischen Punkte anstatt mit den üblichen Holzstäben und Höhentafeln direkt mi den Instrumentstativen nebst deren Steckhülsendreifüßen und großen Zielstiften (Abb. 1 *h* und für die trigonometrische Höhenmessung mit solchen nach Abb. 1 *a* und Abb. 4 *a* ausgestattet waren. Daß man auch bei solchen Kleindreiecksmessungen für Lage- und Höhenbestimmung mit diesem Zwangszentrierungsverfahren außerordentlich gute Er gebnisse erzielt, soll hier nur erwähnt werden.

## Genauigkeitsuntersuchung für die Lagemessung.

Die Beobachtung der Polygonwinkel erfolgte in 2 Sätzen. Ein Satz entspricht hier dem einmaligen Einstellen aller Ziele. Zwischen 1. und 2. Satz wurde das Fern- rohr durchgeschlagen und der Kreis um etwa 90° verstellt.

Zur Feststellung der inneren Genauigkeit der Satzbeobachtungen wurden die Widersprüche zwischen 1. und 2. Satz auf den 116 Polygonpunkten nach Anzahl, Größe und Vorzeichen ausgezählt. Diese Widersprüche wurden dadurch gebildet, daß das Messungsergebnis des 1. Satzes von dem des 2. abgezogen wurde. Belastet sind diese Werte allerdings noch mit einem gewissen systematischen Einfluß von Zielachsen- und Kippachsenfehler. Der Einfluß beider ist hier jedoch infolge vorheriger genauer Justierung des Instrumentes gering, wie die 273 ausgezählten Fehlerwerte zeigen, von

Fehlertafel.

| Widersprüche | Anzahl positiv | Anzahl negativ | Widersprüche | Anzahl positiv | Anzahl negativ |
|---|---|---|---|---|---|
| 0″ | 65 | 65 | 22″ | 9 | 10 |
| 1″ | 2 | 5 | 23″ | 9 | 2 |
| 2″—5″ | 0 | 0 | 24″ | 0 | 1 |
| 6″ | 3 | 1 | 25″—29″ | 0 | 0 |
| 7″ | 11 | 11 | 30″ | 3 | 6 |
| 8″ | 12 | 9 | 31″ | 1 | 3 |
| 9″ | 2 | 3 | 32″—36″ | 0 | 0 |
| 10″—13″ | 0 | 0 | 37″ | 1 | 0 |
| 14″ | 1 | 6 | 38″—51″ | 0 | 0 |
| 15″ | 11 | 4 | 52″ | 1 | 0 |
| 16″ | 5 | 7 | 53″ | 1 | 0 |
| 17″—19″ | 0 | 0 | 54″—60″ | 0 | 0 |
| 20″ | 1 | 0 | 61″ | 0 | 1 |
| 21″ | 0 | 1 | Summa: | 138 | 135 |

denen 138 mit positiven und 135 mit negativen Vorzeichen auftreten, wenn man den Fehler Null zur einen Hälfte den positiven, zur anderen den negativen Fehlern zurechnet. Die Widersprüche treten also hier fast nach dem Gesetze der zufälligen Fehler auf und können demnach unbedenklich zur Genauigkeitsuntersuchung zugelassen werden. Das Nähere zeigt die vorstehende Fehlertafel.

Wertet man diese Fehlerbeträge nach der Formel für die Berechnung des mittleren Fehlers aus Beobachtungsdifferenzen, nämlich nach $\mu = \pm \sqrt{\frac{\widetilde{dd}}{2n}}$ aus, so ergibt sich als mittlerer Winkelfehler: $\mu_w = \pm 9{,}6''$.

Über die äußere Genauigkeit dieser polygonometrischen Winkelmessungen gibt die nachstehende Übersicht Auskunft, welche die bei der häuslichen Berechnung zur Abstimmung auf die Richtungswerte des trigonometrischen Netzes erforderlichen Verbesserungen enthält. Von 124 Polygonseiten erhielten:

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 18 | Seiten | die | Verbesserung | 0″ | oder | 14,5 % |
| 35 | „ | „ | „ | 1″ | „ | 28,3 % |
| 18 | „ | „ | „ | 2″ | „ | 14,5 % |
| 14 | „ | „ | „ | 3″ | „ | 11,3 % |
| 4 | „ | „ | „ | 4″ | „ | 3,2 % |
| 12 | „ | „ | „ | 5″ | „ | 9,7 % |
| 15 | „ | „ | „ | 6″ | „ | 12,1 % |
| 5 | „ | „ | „ | 7″ | „ | 4,0 % |
| 3 | „ | „ | „ | 8″ | „ | 2,4 %. |

Von obiger Aufstellung wurde 1 Polygonzug mit 12 Seiten ausgeschlossen, der wegen strömenden Regens mehrfach unterbrochen werden mußte und infolgedessen nicht in aller Strenge nach dem Prinzip des Zwangszentrierungsverfahrens ausgeführt werden konnte. Trotz dieser Störung kamen aber auch in diesen 12 Seiten nur Fehlerverteilungen von höchstens 16″ vor.

### Genauigkeitsuntersuchung für die Höhenmessung.

Mit der horizontalen Richtungsmessung war in derselben Aufstellung des Instrumentes die Zenitdistanzmessung zur trigonometrischen Bestimmung der Koten aller Polygonpunkte verbunden. Die Zenitdistanzmessung erfolgte bei jedesmal einspielender Alhidadenlibelle in 2 Lagen des Fernrohrs nach den kreisförmigen Zielscheiben, deren Mittelpunkte (Abb. 4 *h*) auf den benachbarten Stativen ebenso hoch über der Stativplatte waren wie jedesmal die Kippachse des Theodoliten, d. h. es wurde jede Zielung für diese Zenitdistanzmessungen hin und zurück genau in gegenseitiger Sicht durchgeführt. Der Umstand, daß die Summe zweier gegenseitiger Zenitdistanzen bei fehlerfreier Messung den Betrag von 180$^0$ ergeben muß, ermöglicht die Berechnung des mittleren Fehlers für die einmalige Messung einer Zenitdistanz. In 117 Polygonseiten wurden die gegenseitigen Zenitdistanzen zusammengestellt, und die Abweichung vom Sollwert 180$^0$ als wahrer Fehler ermittelt. Es ergaben sich 62 positive und 55 negative wahre Fehler. Der größte positive Fehler betrug + 53″, der größte negative Fehler — 75″. Die Summe der 62 positiven Fehlerwerte betrug 961″, die der 55 negativen 638″. Ein gewisser systematischer Fehlereinfluß durch Überwiegen der positiven Summe ist nicht zu verkennen. Rechnet man aus diesen 117 wahren Fehlern nach $\mu = \pm \sqrt{\frac{\widetilde{\varepsilon\varepsilon}}{n}}$ einen mittleren Abschlußfehler, so ergibt sich $\mu = \pm \sqrt{\frac{41\,913}{117}} = \pm 18{,}9''$. An der Bildung dieses mittleren Fehlers sind 4 Zenit-

distanzen (je 2 in 2 Lagen) beteiligt, so daß sich der mittlere Fehler der einmaligen Messung einer solchen ergibt zu: $\mu_z = \pm 18{,}9 : \sqrt{4} = \pm 9{,}5''$.

Der mittlere Fehler der einmaligen Messung einer Zenitdistanz ließ sich hier noch auf anderem Wege, wenn auch nur angenähert, ermitteln. Es wurden an 4 Arbeitstagen (29. III., 6., 7. u. 8. IV.) im ganzen 234 Zenitdistanzen in 2 Lagen des Fernrohrs gemessen. Bei fehlerfreier Messung und Konstanz der Alhidadenlibelle am Höhenkreise müßte die Summe beider Lagen stets ein und denselben gleichen Wert, nahezu 360°, ergeben. Aus diesen 234 Abweichungen von 360°, nämlich den doppelten Indexverbesserungen, läßt sich nun ein arithmetischer Mittelwert errechnen und aus den übrig bleibenden Fehlern der mittlere Fehler dieser doppelten Indexverbesserung. Faßt man zunächst summarisch gleichzeitig alle Ergebnisse der 4 Arbeitstage zusammen, so ergibt sich der mittlere Fehler der doppelten Indexverbesserung zu:

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{144181}{234-1}} = \pm \sqrt{618{,}8} = \pm 24{,}9''.$$

Da sich der doppelte Indexfehler aus 2 Zenitdistanzmessungen errechnet, so wäre hiernach der mittlere Fehler der einmaligen Messung einer Zenitdistanz in einer Lage des Fernrohrs: $\mu_z = \pm 24{,}9 : \sqrt{2} = \pm 17{,}6''$. Das ist ein Betrag, der erheblich größer ist, als der soeben mit $\pm 9{,}5''$ errechnete. Dieses Zuviel ist wohl verursacht durch die Veränderlichkeit und Schwankung der Alhidadenlibelle und damit der Indexverbesserung infolge von unvermeidlichen Erschütterungen, Temperaturschwankungen usw. innerhalb des großen Zeitabschnittes von 11 Tagen. Man kann die Indexverbesserung aber wohl nur innerhalb kleiner Zeitabschnitte als konstant zugrunde legen. Das Ergebnis bessert sich, obwohl auch jetzt dieser schwankende Instrumentalfehler bei der Fehlerberechnung nicht ganz ausgeschaltet zu sein scheint, wenn man tageweise für den 29. März und den 6., 7. und 8. April dieselbe Berechnung getrennt anstellt. Es ergeben sich dann für den mittleren Fehler der doppelten Indexverbesserung am 29. III. aus 36 Werten: $\mu = \pm 23{,}7''$, am 6. IV. aus 28 Werten: $\mu = \pm 20{,}6''$, am 7. IV. aus 84 Werten: $\mu = \pm 21{,}2''$ und am 8. IV. aus 86 Werten: $\mu = \pm 20{,}2''$. Vereinigt man diese 4 Beträge unter Berücksichtigung der Gewichte zu einem allgemeinen arithmetischen Mittel, so erhält man: $\mu = \pm 21{,}1''$ oder schon in besserer Annäherung, aber immer noch mit dem systematischen Fehlereinfluß behaftet, als Wert des mittleren Fehlers einer Zenitdistanzmessung: $\mu_z = \pm 14{,}9''$, anstatt wie oben $\pm 9{,}5''$.

Entsprechend dieser guten Genauigkeit der Zenitdistanzmessung waren auch die Abschlußfehler der trigonometrischen Höhenberechnungen in den Polygonzügen beim Ausgleich auf die Ergebnisse der geometrischen Nivellements nur gering. Näheres zeigt nebenstehende Tafel.

| Anzahl der Zugseiten | Ungefähre Zuglänge m | Abschlußfehler mm |
|---|---|---|
| 18 | 2897 | + 16 |
| 11 | 1878 | — 1 |
| 4 | 961 | — 30 |
| 16 | 3057 | — 27 |
| 12 | 2403 | — 38 |
| 8 | 1184 | — 33 |
| 5 | 751 | + 6 |
| 11 | 1708 | — 12 |
| 14 | 1669 | — 2 |
| 11 | 1418 | — 22 |
| 11 | 1057 | — 25 |

**Arbeitszeitermittelung.**

Um einen Einblick in den Zeitverbrauch bei der örtlichen Messungsarbeit zu erhalten, wurden die Beobachtungszeiten jedesmal beim Verlassen eines Polygonpunktes genau notiert. Die nachstehende Tafel gibt für die 4 Arbeitstage den auf die eigent-

iche Messung der Horizontalwinkel und der Zenitdistanzen verwendeten reinen Zeit-verbrauch an.

| Datum | Anzahl der Punkte | Anzahl der Horizontal-Strahlen | Anzahl der Höhen-Strahlen | Zeitverbrauch in Minuten | je Punkt: Minuten |
|---|---|---|---|---|---|
| 29. III. | 18 | 50 | 51 | 375 | 21 |
| 6. IV. | 12 | 30 | 32 | 206 | 17 |
| 7. IV. | 43 | 109 | 98 | 641 | 15 |
| 8. IV. | 43 | 109 | 107 | 643 | 15 |
| | 116 | 298 | 288 | 1865 | 68 |

Im Mittel ergibt sich für den Polygonpunkt ein Zeitverbrauch von 16 Minuten. n den angegebenen Zeitwerten ist der Zeitverbrauch für die Wege von Punkt zu Punkt, geringe Aufenthalte bei auftretenden Störungen (Hindernis in der Linie, Stativ u spät fertig usw.), für Aufstellen und für das exakte Loten der Stehachse des Instrumentes und für die eigentliche Messung enthalten. Nicht enthalten sind darin die An- und Abmarschzeiten, die Unterbrechungen infolge Regens und die Erholungspausen. Der 29. III. diente der Einübung des Personals und zeigt infolgedessen eine geringere Leistung, der 6. IV. war durch Regen gestört. Zur vollen Auswirkung kam las Breithauptsche Steckhülsenverfahren erst an den beiden letzten Tagen.

Bei den Messungen waren die 5 Stative gleichzeitig im Polygonzuge auf fünf intereinanderfolgenden Punkten genau zentrisch aufgestellt, und zwar nach dem Prinzip der Arbeitsteilung von nicht besonders geschulten Gehilfen (hier waren es Studenten), während die eigentliche Arbeit der Messung von einem geschulten Beobachter ausgeführt wurde. Der Letztere war auf diese Weise nur noch mit der hochwertigen Ausführung der Richtungs- und Höhenwinkelmessung beschäftigt, während las lästige Transportieren und Aufstellen, ferner das zeitraubende genaue Zentrieren ler Stative mit den darauf befindlichen Signalen und das Lotrechtstellen dem Beobachter durch seine Hilfskräfte abgenommen wurde. So ergab sich gleichsam der Zustand einer Fließarbeit, bei der die jedesmal beobachteten und erledigten hinteren Stative automatisch nach vorne im Polygonzug vorrückten, während der Beobachter ıur zu messen und dann von Punkt zu Punkt zu wandern hatte. Da die Achsen ler Signale in der Steckhülsenplatte auf jedem Stativ von dem Gehilfen bereits mit iner Dosenlibelle lotrecht gestellt waren, so blieb dem Beobachter nur noch gelegentlich ei steileren Sichten die Feinlotung der Theodolitachse übrig.

Das flotte Arbeitstempo ist bei diesem Verfahren dadurch möglich, daß der Beobachter von allen Nebenarbeiten durch die 5 Gehilfen an den Stativen entlastet ist nd fast sofort nach Eintreffen auf dem Standpunkt mit der eigentlichen Messung eginnen kann. Dabei ist das Verfahren trotz des größeren Personalbedarfs (außer lem Beobachter und dem Feldbuchführer sind 5 Gehilfen für die 5 Stative erforderlich) nfolge der Arbeitsteilung zwischen hochwertiger Messung und der untergeordneten Stativbedienung durchaus wirtschaftlich, wenn man die sonst durchschnittliche Tagesleistung von etwa 15 Polygonpunkten für den Arbeitstag — diese Ziffer ergab sich us den amtlichen Akten von 6 Neumessungen verschiedener Gemeinden — damit ergleicht und dazu noch berücksichtigt, daß mit dem Breithauptschen Steckhülsenverfahren die trigonometrische Höhenmessung hier nebenbei noch mit erledigt wurde.

Man kann daher dieses Breithauptsche Steckhülsenverfahren im Hinblick auf Genauigkeit, Schnelligkeit und Wirtschaftlichkeit für alle Polygonierungen über Tage, wo es uf genaue Ergebnisse ankommt, und wo vor allem die gleichzeitige trigonometrische Höhenmessung als billiges Nebenprodukt erwünscht erscheint, bestens empfehlen.

# Beitrag zur Bestimmung der Konstanten von Fadenentfernungsmesser

Von
**P. Werkmeister** in Dresden.

Die Bestimmung der Konstanten eines entfernungsmessenden Fernrohrs m festen Fäden wurde in ausführlicher Weise von E. Hammer[1] behandelt; es wi dabei besonders darauf hingewiesen, daß die in verschiedenen Entfernungen gemessene durch die beiden Fäden bestimmten Lattenabschnitte verschieden genau sind, die a ihnen berechneten Werte der Multiplikationskonstanten $k$ also verschiedene Gewich haben. Bei der gemeinsamen Bestimmung der Konstanten $k$ und der Additionsko stanten $c$ werden a. a. O. Gewichte eingeführt, die auf Grund von zuvor aufgestellte Gleichungen zur Berechnung des mittleren Ablesefehlers ermittelt wurden. Im folgende wird ein Verfahren mitgeteilt, bei dem die verschiedenen Gewichte durch entsprechen Anordnung der Messung aus dieser selbst hervorgehen. Das Verfahren besteht i Grundgedanken darin, daß für mehrere runde Entfernungen die Lattenabschnitte sa ihren mittleren Fehlern mittelbar je mit Hilfe einer Gruppe von fünf oder sechs, na beieinander gelegenen Punkten bestimmt werden. Das Verfahren ist bei Fernröhre Ramsdenscher Bauart und bei solchen mit innerer Einstellinse verwendbar.

### 1. Fernrohr nach Ramsden.

Die Additionskonstante $c$ und die Multiplikationskonstante $k$ werden getren bestimmt; $c$ zuerst durch unmittelbares Abmessen am Instrument. Die Bestimmu von $k$ erfolgt z. B. mit Hilfe von sechs Gruppen von je fünf Punkten zwischen 39, und 40,5, 41,5 und 42,5, 43,5 und 44,5, 45,5 und 46,5, 47,5 und 48,5 sowie 49, und 50,5 m Entfernung. Bestimmt man für jeden Punkt den Lattenabschnitt u die Entfernung von der Mitte des Instruments, so kann man je die fünf Latte abschnitte $l_1$, $l_2$, $l_3$, $l_4$ und $l_5$ einer Punktgruppe zu einer gedachten Messung $L$ z sammenfassen; bezieht man diese — den oben angenommenen Entfernungen en sprechend — auf die runden Entfernungen $E_a$, $E_b$, $E_c$, $E_d$, $E_e$ und $E_f$, so erhält ma zu diesen Entfernungen die Lattenabschnitte $L_a$, $L_b$, $L_c$, $L_d$, $L_e$ und $L_f$. Bezeichn man bei jeder Punktgruppe die Abstände der fünf Punkte von der angenommene runden Entfernung $E$ mit $e_1$, $e_2$, $e_3$, $e_4$ und $e_5$, so hat man zur Bestimmung des z $E$ gehörigen Lattenabschnitts $L$ die fünf Wertepaare $(e_1, l_1)$, $(e_2, l_2)$, $(e_3, l_3)$, $(e_4, l_4)$ u $(e_5, l_5)$. Gleicht man die durch diese Wertepaare bestimmte fehlerzeigende Punktrei durch eine Gerade mit der Gleichung $l = e x + L$ aus, so erhält man $L$ und die Hilf unbekannte $x$ auf Grund der fünf Fehlergleichungen

$$\left.\begin{array}{l} l_1 + v_1 = e_1 x + L \\ l_2 + v_2 = e_2 x + L \\ \cdot\;\cdot\;\cdot\;\cdot\;\cdot\;\cdot\;\cdot\;\cdot \\ l_5 + v_5 = e_5 x + L \end{array}\right\} \quad \text{oder} \quad \left\{\begin{array}{l} v_1 = e_1 x + L - l_1 \\ v_2 = e_2 x + L - l_2 \\ \cdot\;\cdot\;\cdot\;\cdot\;\cdot\;\cdot\;\cdot\;\cdot \\ v_5 = e_5 x + L - l_5 \end{array}\right.$$

Führt man für $L$ den Näherungswert $L_0$ ein[2], indem man setzt

$$L = L_0 + \Delta L,$$

---

[1] *Österr. Zeitschr. f. Verm.* **15.** *S. 177. 1917.*

[2] Die Einführung eines Näherungswertes für $x$ ist hier nicht erforderlich. Einen Näherung wert für $L$ erhält man in einfacher Weise zeichnerisch.

so gehen die Fehlergleichungen über in

$$v_1 = e_1 x + \Delta L + (L_0 - l_1),$$
$$v_2 = e_2 x + \Delta L + (L_0 - l_2),$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$v_5 = e_5 x + \Delta L + (L_0 - l_5).$$

Auf Grund der hieraus sich ergebenden Normalgleichungen findet man in bekannter Weise $\Delta L$ und damit $L$, sowie den mittleren Fehler $\mu$ von $L$.

Nach Berechnung von $L$ und $\mu$ erhält man auf Grund der bekannten Gleichung

$$E = c + k L$$

die Multiplikationskonstante $k$ und ihren mittleren Fehler $\mu_k$ aus

$$k = \frac{E - c}{L} \quad \text{und} \quad \mu_k = \frac{k^2}{E - c}\mu.$$

Damit hat man zur Berechnung des Gewichtes $p$ von $k$ die Gleichung

$$p = \left(\frac{E - c}{\mu}\right)^2 K,$$

in der man für die Konstante $K$ einen den jeweiligen Zahlenwerten entsprechenden Wert wählt.

## Beispiel.

Bei einem Fernrohr mit $c = 0{,}34$ m ergaben sich für sechs Gruppen $A$, $B$, $C$, $D$, $E$ und $F$ in der üblichen Weise die folgenden Werte:

| | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Gruppe A.** | | | | | | |
| Entfernungen . . . | 39,630 | 39,861 | 40,026 | 40,169 | 40,345 | m |
| Lattenabschnitte . . | 0,393$_5$ | 0,395 | 0,397 | 0,398$_5$ | 0,399$_5$ | m |
| **Gruppe B.** | | | | | | |
| Entfernungen . . . | 41,580 | 41,837 | 42,054 | 42,207 | 42,395 | m |
| Lattenabschnitte . . | 0,412 | 0,414$_5$ | 0,417 | 0,418 | 0,420 | m |
| **Gruppe C.** | | | | | | |
| Entfernungen . . . | 43,504 | 43,722 | 43,929 | 44,111 | 44,241 | m |
| Lattenabschnitte . . | 0,431$_5$ | 0,435$_5$ | 0,436 | 0,438 | 0,438 | m |
| **Gruppe D.** | | | | | | |
| Entfernungen . . . | 45,514 | 45,859 | 46,086 | 46,313 | 46,491 | m |
| Lattenabschnitte . . | 0,452 | 0,455$_5$ | 0,456$_5$ | 0,458 | 0,460$_5$ | m |
| **Gruppe E.** | | | | | | |
| Entfernungen . . . | 47,658 | 47,756 | 47,911 | 48,196 | 48,464 | m |
| Lattenabschnitte . . | 0,472$_5$ | 0,474$_5$ | 0,475$_5$ | 0,479 | 0,480 | m |
| **Gruppe F.** | | | | | | |
| Entfernungen . . . | 49,553 | 49,752 | 49,955 | 50,250 | 50,531 | m |
| Lattenabschnitte . . | 0,492 | 0,493 | 0,495$_5$ | 0,499$_5$ | 0,502 | m |

Damit erhält man unter Benutzung der oben eingeführten Bezeichnungen:

Gruppe A.

$E_a = 40{,}00$ m $\qquad L_0 = 0{,}3965$ m

| | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $e =$ | $-3{,}70$ | $-1{,}39$ | $+0{,}26$ | $+1{,}69$ | $+3{,}45$ | dm |
| $L_0 - l =$ | $+3{,}0$ | $+1{,}5$ | $-0{,}5$ | $-2{,}0$ | $-3{,}0$ | mm |

$$L_a = 0{,}3966 \pm 0{,}0002 \text{ m}$$

Gruppe B.

$E_b = 42{,}00$ m $\quad L_0 = 0{,}4160$ m

| | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $e =$ | $-4{,}20$ | $-1{,}63$ | $+0{,}54$ | $+2{,}07$ | $+3{,}95$ | dm |
| $L_0 - l =$ | $+4{,}0$ | $+1{,}5$ | $-1{,}0$ | $-2{,}0$ | $-4{,}0$ | mm |

$L_b = 0{,}4162 \pm 0{,}0001$ m

Gruppe C.

$E_c = 44{,}00$ m $\quad L_0 = 0{,}4365$ m

| | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $e =$ | $-4{,}96$ | $-2{,}78$ | $-0{,}71$ | $+1{,}11$ | $+2{,}41$ | dm |
| $L_0 - l =$ | $+5{,}0$ | $+1{,}0$ | $+0{,}5$ | $-1{,}5$ | $-1{,}5$ | mm |

$L_c = 0{,}4366 \pm 0{,}0005$ m

Gruppe D.

$E_d = 46{,}00$ m $\quad L_0 = 0{,}4560$ m

| | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $e =$ | $-4{,}86$ | $-1{,}41$ | $+0{,}86$ | $+3{,}13$ | $+4{,}91$ | dm |
| $L_0 - l =$ | $+4{,}0$ | $+0{,}5$ | $-0{,}5$ | $-2{,}0$ | $-4{,}5$ | mm |

$L_d = 0{,}4561 \pm 0{,}0003$ m

Gruppe E.

$E_e = 48{,}00$ m $\quad L_0 = 0{,}4765$ m

| | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $e =$ | $-3{,}42$ | $-2{,}44$ | $-0{,}89$ | $+1{,}96$ | $+4{,}64$ | dm |
| $L_0 - l =$ | $+4{,}0$ | $+2{,}0$ | $+1{,}0$ | $-2{,}5$ | $-3{,}5$ | mm |

$L_e = 0{,}4763 \pm 0{,}0003$ m

Gruppe F.

$E_f = 50{,}00$ m $\quad L_0 = 0{,}4965$ m

| | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $e =$ | $-4{,}47$ | $-2{,}48$ | $-0{,}45$ | $+2{,}50$ | $+5{,}31$ | dm |
| $L_0 - l =$ | $+4{,}5$ | $+3{,}5$ | $+1{,}0$ | $-3{,}0$ | $-5{,}5$ | mm |

$L_f = 0{,}4963 \pm 0{,}0003$ m.

Zur Bestimmung von $k$ hat man demnach die folgenden Werte:

| Punkt | $E - c$ | $L$ | $\mu$ | $k$ | $p$ |
|---|---|---|---|---|---|
| | m | m | mm | | |
| A | 39,66 | 0,3966 | 0,2 | 100,00 | 4 |
| B | 41,66 | 0,4162 | 0,1 | 100,10 | 18 |
| C | 43,66 | 0,4366 | 0,5 | 100,00 | 1 |
| D | 45,66 | 0,4561 | 0,3 | 100,10 | 2 |
| E | 47,66 | 0,4763 | 0,3 | 100,06 | 3 |
| F | 49,66 | 0,4963 | 0,3 | 100,06 | 3 |

Auf Grund der bekannten Formel für das allgemeine arithmetische Mittel findet man

$$k = 100{,}08 \pm 0{,}02\,.$$

Berechnet man $k$ ohne Berücksichtigung der Gewichte, so erhält man — wie leicht zu übersehen — einen etwas kleineren Wert, nämlich

$$k = 100{,}05 \pm 0{,}02.$$

## 2. Fernrohr mit innerer Einstellinse.

Bei diesem Fernrohre kann man die Gleichung zur Berechnung der Entfernung $E$ mit Hilfe des Lattenabschnitts $l$ in der Form schreiben

$$E = k_0 l + \Delta E\,,$$

wobei $k_0$ eine runde Zahl — z. B. gleich 100 — und $\Delta E$ eine Funktion von $l$ bzw. $E$ ist. Die Bestimmung der $\Delta E$-Werte für runde Werte von $E$ — z. B. 20, 40 ... 100, 120, 140 ... 200 m — geschieht für jeden dieser $E$-Werte mit Hilfe einer Gruppe von

z. B. 6 Punkten in Entfernungen zwischen $E - 0{,}50$ und $E + 0{,}50$ m. Faßt man in der beim Ramsdenschen Fernrohr angegebenen Weise die 6 Punkte jeder Gruppe zu einer gedachten, auf die runde Entfernung sich beziehende Messung zusammen, so erhält man die den runden Entfernungen $E_1, E_2, E_3 \ldots$ entsprechenden Lattenabschnitte $L_1, L_2, L_3 \ldots$ sowie die mittleren Fehler $\mu_1, \mu_2, \mu_3 \ldots$ der letzteren. Auf Grund der Gleichung $E = k_0 L + \Delta E$ kann man nun die zu $E_1, E_2, E_3 \ldots$ gehörigen Werte $\Delta E_1$, $\Delta E_2, \Delta E_3 \ldots$ berechnen. Durch die damit sich ergebenden Wertepaare $(E_1, \Delta E_1)$, $(E_2, \Delta E_2)$, $(E_3, \Delta E_3) \ldots$ ist eine fehlerzeigende Punktreihe bestimmt; ermittelt man ihre plausibelste Gerade mit der Gleichung

$$\Delta E = E x + y,$$

so ergeben sich dabei die Fehlergleichungen

$$\left.\begin{array}{l} \Delta E_1 + v_1 = E_1 x + y \\ \Delta E_2 + v_2 = E_2 x + y \\ \Delta E_3 + v_3 = E_3 x + y \\ \ldots\ldots\ldots \end{array}\right\} \quad \text{oder} \quad \left\{\begin{array}{l} v_1 = E_1 x + y - \Delta E_1 \\ v_2 = E_2 x + y - \Delta E_2 \\ v_3 = E_3 x + y - \Delta E_3 \\ \ldots\ldots\ldots \end{array}\right.$$

Die Gewichte $p_1, p_2, p_3 \ldots$ der hier Beobachtungen vorstellenden Werte $\Delta E_1$, $\Delta E_2, \Delta E_3 \ldots$, deren mittlere Fehler $k_0$mal größer sind als die mittleren Fehler $\mu_1$, $\mu_2, \mu_3 \ldots$ von $L_1, L_2, L_3 \ldots$, kann man berechnen aus

$$p_1 = \frac{K}{\mu_1^2}, \quad p_2 = \frac{K}{\mu_2^2}, \quad p_3 = \frac{K}{\mu_3^2} \ldots$$

Aus den Fehlergleichungen erhält man in der üblichen Weise die Normalgleichungen und aus diesen die Werte von $x$ und $y$. Kennt man $x$ und $y$, so kann man eine Tafel zur Ermittlung von $\Delta E$ für gegebene Werte von $E$ bzw. $l$ herstellen.

**Beispiel.**

Für ein Fernrohr wurden für 10 Gruppen von je 6 Punkten die nachstehenden Werte ermittelt:

1. Gruppe.

| | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Entfernungen . . . | 19,51 | 19,70 | 19,91 | 20,15 | 20,31 | 20,48 | m |
| Lattenabschnitte . . | 0,194 | 0,197 | 0,1985 | 0,201 | 0,202 | 0,205 | m |

$E_1 = 20{,}00$ m $\quad L_1 = 0{,}1995 \pm 0{,}0002$ m $\quad \Delta E_1 = 0{,}05$ m

2. Gruppe.

| | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Entfernungen . . . | 39,50 | 39,70 | 39,88 | 40,05 | 40,25 | 40,45 | m |
| Lattenabschnitte . . | 0,395 | 0,397 | 0,398 | 0,400 | 0,401 | 0,403 | m |

$E_2 = 40{,}00$ m $\quad L_2 = 0{,}3992 \pm 0{,}0001$ m $\quad \Delta E_2 = 0{,}08$ m

3. Gruppe.

| | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Entfernungen . . . | 59,55 | 59,74 | 59,94 | 60,10 | 60,27 | 60,47 | m |
| Lattenabschnitte . . | 0,594 | 0,598 | 0,600 | 0,601 | 0,603 | 0,603 | m |

$E_3 = 60{,}00$ m $\quad L_3 = 0{,}5997 \pm 0{,}0005$ m $\quad \Delta E_3 = 0{,}03$ m

4. Gruppe.

| | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Entfernungen . . . | 79,58 | 79,76 | 79,98 | 80,15 | 80,30 | 80,44 | m |
| Lattenabschnitte . . | 0,792 | 0,797 | 0,798 | 0,799 | 0,801 | 0,804 | m |

$E_4 = 80{,}00$ m $\quad L_4 = 0{,}7981 \pm 0{,}0005$ m $\quad \Delta E_4 = 0{,}19$ m

5. Gruppe.

| | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Entfernungen . . . | 99,52 | 99,75 | 99,99 | 100,15 | 100,30 | 100,47 m |
| Lattenabschnitte . . | 0,992 | 0,995 | 0,995 | 1,001 | 1,001 | 1,005 m |

$E_5 = 100{,}00$ m $\quad L_5 = 0{,}9978 \pm 0{,}0007$ m $\quad \Delta E_5 = 0{,}22$ m

6. Gruppe.

| | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Entfernungen . . . | 119,51 | 119,70 | 119,90 | 120,15 | 120,31 | 120,48 m |
| Lattenabschnitte . . | 1,193 | 1,195 | 1,196 | 1,197 | 1,199 | 1,202 m |

$E_6 = 120{,}00$ m $\quad L_6 = 1{,}1969 \pm 0{,}0004$ m $\quad \Delta E_6 = 0{,}31$ m

7. Gruppe.

| | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Entfernungen . . . | 139,53 | 139,71 | 139,91 | 140,09 | 140,29 | 140,47 m |
| Lattenabschnitte . . | 1,390 | 1,393 | 1,395 | 1,399 | 1,401 | 1,402 m |

$E_7 = 140{,}00$ m $\quad L_7 = 1{,}3967 \pm 0{,}0003$ m $\quad \Delta E_7 = 0{,}33$ m

8. Gruppe.

| | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Entfernungen . . . | 159,54 | 159,70 | 159,92 | 160,12 | 160,28 | 160,46 m |
| Lattenabschnitte . . | 1,590 | 1,592 | 1,593 | 1,594 | 1,598 | 1,605 m |

$E_8 = 160{,}00$ m $\quad L_8 = 1{,}5953 \pm 0{,}0010$ m $\quad \Delta E_8 = 0{,}47$ m

9. Gruppe.

| | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Entfernungen . . . | 179,55 | 179,70 | 179,87 | 180,09 | 180,29 | 180,47 m |
| Lattenabschnitte . . | 1,790 | 1,792 | 1,795 | 1,797 | 1,801 | 1,805 m |

$E_9 = 180{,}00$ m $\quad L_9 = 1{,}7967 \pm 0{,}0003$ m $\quad \Delta E_9 = 0{,}33$ m

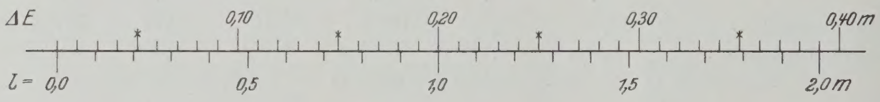
10. Gruppe.

| | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Entfernungen . . . | 199,51 | 199,76 | 199,95 | 200,18 | 200,31 | 200,50 m |
| Lattenabschnitte . . | 1,990 | 1,995 | 1,998 | 2,000 | 2,000 | 2,002 m |

$E_{10} = 200{,}00$ m $\quad L_{10} = 1{,}9971 \pm 0{,}0005$ m $\quad \Delta E_{10} = 0{,}29$ m.

Mit den Wertepaaren

| | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. | 8. | 9. | 10. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $E =$ | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 | 140 | 160 | 180 | 200 m |
| $\Delta E =$ | 0,5 | 0,8 | 0,3 | 1,9 | 2,2 | 3,1 | 3,3 | 4,7 | 3,3 | 2,9 dm |




und den auf Grund der Gleichung

$$p = \frac{K}{\mu^2} = \frac{0{,}1}{\mu^2} \qquad (\mu \text{ in Millimeter})$$

berechneten Gewichten

| | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. | 8. | 9. | 10. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $p =$ | 2,5 | 10,0 | 0,4 | 0,4 | 0,2 | 0,6 | 1,1 | 0,1 | 1,1 | 0,4 |

erhält man für die Größen $x$ und $y$ der Gleichung $\Delta E = Ex + y$ die Werte $x = 0{,}019 \pm 0{,}002$ und $y = 0{,}1 \pm 0{,}2$ dm. Damit ergibt sich zur Berechnung von $E$ auf Grund der Gleichung $E = k_0 l + \Delta E$ mit $k_0 = 100$ die in der Abbildung angegebene Tafel.

# Die Berechnung der unbekannten Brechungsexponenten des Refraktometerprismas aus den bekannten Brechungsexponenten desselben.

Von

**A. Karvonen** in Helsinki.

Die Zahl der Brechungsexponenten, welche mit einem Refraktometer für einen Untersuchungsstoff bestimmt werden kann, ist sehr begrenzt, weil das Lichtbrechungsvermögen des Prismenmaterials der Refraktometer nur für einige wenige Linien angegeben ist. Will man andere Linien für den Untersuchungsstoff bestimmen, muß man seine Zuflucht zu anderen Instrumenten nehmen, welche aber, was deren Bequemlichkeit im Gebrauch betrifft, viel zu wünschen übrig lassen. Besonders verwickelt wird sich der Gebrauch anderer Instrumente, als der des Refraktometers, gestalten, wenn die Messungen bei einer anderen Temperatur, als der des Beobachtungszimmers, ausgeführt werden, eine Schwierigkeit, die bei den modernen Refraktometern sehr bequem beseitigt worden ist[1].

Die im Anfang erwähnte Begrenzung bezüglich der Refraktometer kann indessen auf folgende Weise beseitigt werden.

Seitdem es Hartmann[2] gelungen war, eine neue Dispersionsformel zu finden, welche nicht nur für ein großes Spektralgebiet die Brechungsexponenten und die von denselben abhängenden Größen mit einer den Beobachtungsfehlern gleichkommenden Genauigkeit darstellt, sondern auch eine konsequente Auflösung nach der Wellenlänge $\lambda$ gestattet, wurde die Brauchbarkeit der neuen Formel und der älteren Dispersionsformel von Hartmann selbst verglichen, und sowohl an Einfachheit als auch an Genauigkeit, u. a. bei der Berechnung der Brechungsexponenten aller Glassorten, den anderen Dispersionsformeln weit überlegen gefunden[3].

---

[1] v. Auwers *(Berl. Ber.* ***49****. S. 827. 1916;* ***56****. S. 1681. 1923.)* hat, um aus den Beobachtungen mit dem gelben Heliumlicht in Brechungsindizes für Natriumlicht umzurechnen, an den Zahlen der Tabellen des Pulfrich-Zeisschen Apparates, bestimmte, von Dr. Löwe berechnete Korrektionen veröffentlicht. Schoorl *(Berl. Ber.* ***56****. S. 1047. 1923.)* hat das Löwesche Korrektionsverfahren berichtigt. — Bei einem von Nectoux neuerdings konstruierten Refraktometer (Referat *in dieser Zeitschr.* ***49****. S. 419. 1929.)* kann man das Brechungsvermögen des Prismas von 90° mit Hilfe seines anderen Winkels von 60° auf dem Spektrometer messen.

[2] *Publ. d. Astrophys. Observ. z. Potsdam No. 42* (Anhang z. 12. Band). *1898; Astrophys. Journ.* ***8****. S. 218. 1898; diese Zeitschr.* ***19****. S. 57. 1899;* ***37****. S. 166. 1917.*

[3] Wenn Krüss *(diese Zeitschr.* ***37****. S. 1. 1917.)* durch Benutzung der Hartmannschen Formel bei der Berechnung der Dispersion in einer Beobachtungsserie für Quarz nicht zu einem genügenden Anschluß der Formel an die Beobachtungen gelang, beruhte es auf der Ungenauigkeit der aus einer graphischen Darstellung interpolierten Werte von *n* und auf der ungenügenden Genauigkeit der benutzten Wellenlängen (nur 3-ziffrige Werte); die von Hartmann *(Diese Zeitschr.* ***37****. S. 166. 1917.)* angewandten genauen Werte ergaben für Quarz ganz ausgezeichnete Resultate. Bei einer anderen von Krüss (l. c.) mit genaueren Wellenlängen (mit 5-ziffrigen Werten) berechneten Beobachtungsserie für Quarz war „die Übereinstimmung der berechneten mit den beobachteten Werten ganz vorzüglich, wenn man berücksichtigt, daß nur 5-stellige Logarithmen zur Berechnung benutzt wurden". Die größte Abweichung im letzten Fall war bei Krüss (in dem sichtbaren Teil des Spektrums) 4 Einheiten der 5. Dezimale von *n*. — Bei meinen Berechnungen des Prismenmaterials in der vorliegenden Abhandlung wurden 7-stellige Logarithmen und 7-ziffrige Wellenlängen angewandt; die Differenzen zwischen den bekannten und den berechneten Werten sind bei mir noch kleiner als bei Krüss (siehe Tabelle 1).

Die Hartmannsche Dispersionsformel lautet bekanntlich

$$n = n_0 + \frac{c}{(\lambda - \lambda_0)^a},$$

worin $n$ den Brechungsexponenten, $\lambda$ die demselben entsprechende Wellenlänge, $n_0$, $c$ und $\lambda_0$ die durch den Versuch zu ermittelnden Konstanten und $\alpha$ eine vierte Konstante bedeuten. Diese Formel habe ich nun bei der Berechnung der unbekannten Brechungsexponenten der Prismen $I^d$ und $IV^d$ des letzten Modells der großen Pulfrichschen Refraktometer angewandt, das i. J. 1928 von dem chemischen Laboratorium der Turun Yliopisto angeschafft worden ist.

Als Grundlage für die Berechnungen wurden sechs in der Tabelle für die Prismen $I^d$ und $IV^d$ angegebene, bei $20^0$ geltende Brechungsexponenten N angewandt. Die Lichtwellenlängen $\lambda$ wurden aus dem bekannten Kohlrauschen Lehrbuch[1] entnommen, mit Ausnahme derjenigen für den Wasserstoff, für welche letzgenannten die Wellenlängen aus Landolt-Börnsteins Tabellen[2] erhalten werden konnten; für Natriumlicht wurde der Mittelwert der Wellenlängen für $D_1$ und $D_2$ angewandt.

Nach den Versuchen mit allen angegebenen Brechungsexponenten $(N_{1-6})$ der Prismen $I^d$ und $IV^d$, wurden durch Anwendung der Brechungsexponenten des Wasserstoffs $(N_{1,2,5})$ nach dem Verfahren der successiven Näherungen schließlich folgende Werte der Konstanten gefunden:

$$\alpha = 1{,}2$$
$$\lambda_0 = 1799{,}9$$
$$n_0 = 1{,}59149$$
$$\log c = 2{,}8020918\,,$$

die beste Übereinstimmung mit den bekannten Brechungsexponenten der Prismen ergeben. Die Differenzen zwischen den bekannten und den berechneten Brechungsexponenten übersteigen nicht 1 Einheit der fünften Dezimale (Tabelle 1)[3]. Da nun die Meßgenauigkeit[4] des großen Pulfrichschen Refraktometers bis auf 1 Einheit der vierten Dezimale für

[1] Kohlrausch, Lehrbuch der praktischen Physik, *S. 802. 1927.*

[2] Landolt-Börnstein, Physikalisch-Chemische Tabellen, II, *S. 824. 1923,* nach Curtis *(Proc. Roy. Soc. (A)* ***90****. S. 605. 1914).* Diese 7-ziffrigen Wellenlängen des Wasserstoffs werden als *genau* (± 0,001 Å.-E.) bezeichnet, und eignen sich vortrefflich für die Ableitung der Konstanten der Hartmannschen Formel, wie die erhaltenen Resultate zeigen. (Bezüglich der Genauigkeit der Wellenlängenzahlen im allgemeinen vergl. Kayser, Tabelle der Hauptlinien der Linienspektra aller Elemente, S. IV. 1926).

[3] Hartmann (l. c.) hat bereits gefunden, daß der Wert $\alpha = 1{,}2$ für die verschiedensten Glassorten zu einer sehr guten Darstellung der Brechungsexponenten ausreicht. — Lee (Referat in *dieser Zeitschr.* ***49****. S. 257. 1929.*) hat neulich eine größere Anzahl optischer Gläser hinsichtlich der Hartmannschen Formel ausgewertet und dabei gefunden, daß bei der Eintragung der Gläser in ein Koordinatensystem mit $n_0$ gegen $c$ alle Gläser auf drei Geraden verteilt liegen, entsprechend den alten Gläsern, den neuen Barytkronen und den Barytflinten. — Fabry und Barot (Referat in *dieser Zeitschr.* ***49****. S. 258. 1929.*) haben photographisch die Brechungsindizes des Prismenmaterials im ultravioletten Spektralgebiet bestimmt. Die Genauigkeit der gemessenen Brechungsindizes wird mit 2 bis 3 Einheiten der 5. Dezimale angegeben und soll für die Dispersionen noch besser sein. — Kingslake, *The »absolute« Hartmann Test, (Rev. d'Opt.* ***8****. S. 30. 1929, Referat aus Transact. Opt. Soc.* ***29****. S. 133—42. 1927—8.*) bestimmt photographisch alle notwendigen Größen für die Berechnung der technischen Konstanten von Hartmann. — Barr (Referat in *dieser Zeitschr.* ***49****. S. 257. 1929.*) beschreibt eine Methode zur Konstruktion der Wellenlängenskalen mit Hilfe der Hartmannschen Konstanten.

[4] Carl Zeiss, Jena. Beschreibung und Anweisung zum Gebrauch des Refraktometers nach Pulfrich. Meß 188, S. 4. — Vergl. auch *diese Zeitschr.* ***49****. S. 419. 1929.*

den Brechungsindex und bis auf 1 bis 2 Einheiten der 5. Dezimale für die Dispersion und für alle Differenzmessungen entspricht, so sind die auf erwähnte Weise ermittelten Brechungsindizes der betreffenden Prismen für den refraktometrischen Gebrauch hinreichend genau.

In der Tabelle 1 bedeutet $\lambda$ die angewandten Wellenlängen der betreffenden Spektrallinien $b$, $\boldsymbol{N}$ die bekannten und $N$ die berechneten Brechungsexponenten des Prismas und $\Delta$ deren Differenzen. Zwecks einer praktischen Unterscheidung der verschiedenen Helium- und Quecksilberlinien von einander sind diese in den folgenden Tabellen mit den 3 ersten Ziffern der Wellenlängen bezeichnet.

Tabelle 1.

| | $b$ | $\lambda$ (Å.-E.) | $\boldsymbol{N}$ | $N$ | $\Delta$ |
|---|---|---|---|---|---|
| (5) | $H_\alpha$ | 6562,793 | **1,61596** | 1,61596 | ± 0,00000 |
| (4) | Na | 5892,947 | **1,62085** | 1,62084 | — 0,00001 |
| (3) | $Hg_{546}$ | 5460,740 | **1,62504** | 1,62505 | + 0,00001 |
| (2) | $H_\beta$ | 4861,327 | **1,63309** | 1,63308 | — 0,00001 |
| (6) | $Hg_{435}$ | 4358,341 | **1,64309** | 1,64308 | — 0,00001 |
| (1) | $H_\gamma$ | 4340,466 | **1,64351** | 1,64351 | ± 0,00000 |

Durch Verwendung der erhaltenen Werte der Konstanten ($\alpha$, $\lambda_0$, $n_0$ und $c$) wurden mit Hilfe der Hartmannschen Formel noch die folgenden Brechungsexponenten für dieselben Prismen berechnet (Tabelle 2):

Tabelle 2.

| $b$ | $\lambda$ (Å.-E.) | $N$ |
|---|---|---|
| $He_{706}$ | 7065,197 | 1,61319 |
| Li | 6707,843 | 1,61510 |
| $He_{667}$ | 6678,147 | 1,61527 |
| $He_\alpha$ | 5875,623 | 1,62099 |
| $Hg_{579}$ | 5790,657 | 1,62175 |
| $He_{501}$ | 5015,678 | 1,63070 |
| $He_{492}$ | 4921,928 | 1,63211 |
| $He_{471}$ | 4713,142 | 1,63563 |
| $He_{447}$ | 4471,480 | 1,64047 |

Zwecks praktischer Prüfung der Zuverlässigkeit der berechneten Brechungsexponenten der Prismen $I^d$ und $IV^d$ wurden erstere für die Berechnung der Brechungsexponenten des bei $20^0$ (± 0,02) bestimmten reinen Wassers angewandt.

Das einmal destillierte Wasser wurde mit Kaliumpermanganat und Schwefelsäure und darauf mit Bariumhydroxyd (unter Anwendung eines Spritzschutzes) destilliert. Zur Messung wurde die Mittelfraktion angewandt, welche mit Alizarin untersucht sich frei von Bariumhydroxyd zeigte. Das Wasser wurde weiterhin vor der Bestimmung durch Erhitzen und Evakuieren von der Luft und von anderen verunreinigenden Gasen befreit.

Die Korrektion für den herausragenden Faden bei dem Thermometer des Refraktometers wurde in folgender Weise vermieden. Ein etwa 20 l fassendes Emaillegefäß war mit einem in $\frac{1}{10}$ Grade eingeteilten Thermometer, mit einem Thermoregulator und mit einer von Prof. Dr. M. H. Palomaa konstruierten, von einem Elektromotor getriebenen Wasserpumpe ausgerüstet. Das temperierte Wasser wurde aus dem Emaillegefäß mit der Pumpe durch ein das ganze Thermometer des Refraktometers umgebendes Glasrohr in das Prisma, in den Mantel der Thermometerkugel und in das Emaillegefäß zurückgetrieben. Durch diese Anordnung konnte der ganze Quecksilberfaden des Thermometers dieselbe Temperatur erhalten, wie die Kugel des Thermometers, das Prisma des Refraktometers und das Untersuchungsobjekt. Das dem Refraktometer zugehörige Thermometer war in üblicher Weise in $\frac{1}{10}$ Grade eingeteilt und geeicht; die Temperatur konnte leicht beliebig lange mit einer Genauigkeit von $\pm 0,02^0$ unverändert beibehalten werden, wenn ein Gehilfe die Apparatur bediente.

Die erhaltenen Werte, welche sich teilweise auch auf solche Wellenlängen beziehen, welche man in der Refraktometrie des Wassers kaum früher angewandt haben dürfte, sind in der Tabelle 3 zusammengestellt. Vergleichshalber sind außerdem von dem untersuchten Spektralgebiet ($\lambda_{3440-7065}$) die Mittelwerte der entsprechenden zahl

Tabelle 3.

| b | λ(Å.-E.) | N | $n^{20^0}$ nach früheren Bestimmungen | $n^{20^0}$ nach Karvonen |
|---|---|---|---|---|
| $He_{706}$ | 7065,197 | 1,61319 | — | 1,33004 |
| Li | 6707,843 | 1,61510 | 1,33073<br>1,33079[2]<br>1,33087 | 1,33078 |
| $He_{667}$ | 6678,147 | 1,61527 | — | 1,33091 |
| $H\alpha$ | 6562,793 | 1,61596[1] | 1,33100<br>1,33114[2]<br>1,33130 | 1,33116 |
| Na | 5892,947 | 1,62085[1] | 1,33287<br>1,33300[3]<br>1,33310 | 1,33301 |
| $He\alpha$ | 5875,623 | 1,62079 | — | 1,33305 |
| $Hg_{579}$ | 5790,657 | 1,62175 | — | 1,33334 |
| $Hg_{546}$ | 5460,740 | 1,62504[1] | — | 1,33445 |
| $He_{501}$ | 5015,678 | 1,63070 | — | 1,33633 |
| $He_{492}$ | 4921,928 | 1,62211 | — | 1,33674 |
| $H\beta$ | 4861,327 | 1,63309[1] | 1,33701<br>1,33714[2]<br>1,33738 | 1,33707 |
| $He_{471}$ | 4713,142 | 1,63563 | — | 1,33784 |
| $He_{447}$ | 4471,480 | 1,64047 | — | 1,33940 |
| $Hg_{435}$ | 4358,341 | 1,64309[1] | 1,34295[4]? | 1,34014* |
| $H\gamma$ | 4340,466 | 1,64341[1] | 1,34015<br>1,34034[2]<br>1,34045 | 1,34026 |

[1] Obwohl die von mir berechneten Brechungsexponenten der Prismen $I^d$ und $IV^d$ für di Wasserstoff-, Natrium- und Quecksilberlinien so gut wie identisch mit den entsprechenden angegebene Brechungsexponenten ($H_{\alpha,\beta,\gamma}$; Na; $Hg_{546}$ und $Hg_{435}$) der Tabelle der Prismen sind und die Differenze höchstens bis 1 Einheit der 5. Dezimale steigen, so habe ich jedoch mit den letztgenannten berechnet Verwendet man z. B. für Wasser im Natriumlicht bei 20⁰ den von mir berechneten Prismenwert $N = 1{,}62084$, so erhält man $n_D^{20^0} = 1{,}33300$; mit dem angegebenen Prismenwert der Tabelle $N = 1{,}62085$, erhält man $n_D^{20^0} = 1{,}33301$.

[2] Der Mittelwert, berechnet aus den von Martens (Landold-Börnstein, Physikalisch Chemische Tabellen, II, *S. 955—6. 1923.*) und Dreisch (ibid. 1. Ergänzungsband, *S. 522—4. 1927.*) wiedergegebenen, auf 20⁰ bezogenen Brechungsexponenten. — Kessler (nach Boegehold, *Forschungen zur Geschichte der Optik, 1. S. 11. 1928.*) hat neulich für Wasser bei 20,5⁰ C folgende, mit de obigen sehr gut übereinstimmenden Werte erhalten: $n_{A'_{768}} = 1{,}32889$; $n_{C_{656}} = 1{,}33119$; $n_{d_{588}} = 1{,}3330$ $n_{e_{546}} = 1{,}33451$; $n_{F_{486}} = 1{,}33717$; $n_{g_{436}} = 1{,}34026$; $n_{h_{405}} = 1{,}34277$.

[3] Mittelwert für Natriumlinie, berechnet von Martens (l. c.).

[4] Landolt-Börnstein, Physikalisch-Chemische Tabellen (1. Ergänzungsband, *S. 522. 1927.*) nach Osborn und Lester (*Phys. Rev. 35. S. 216. 1912.*): $n_{Hg_{4360}}^{20^0} = 1{,}34295$. Dieser Wert ist offenbar zu groß.

* Interpoliert.

reichen früheren Bestimmungen des Wassers und von den letztgenannten weiter für jede Linie der höchste und der niedrigste Wert des Brechungsexponenten mit aufgenommen. Die von mir erhaltenen Werte für $H_\gamma$ und $H_\beta$ sind ein wenig niedriger als die Mittelwerte, was jedoch nicht auf den obigen Ableitungsverfahren beruht, denn ich habe die genannten Werte des Wassers ($n_\beta$ und $n_\gamma$) mit den angegebenen (nicht mit den berechneten) Brechungsexponenten der Prismen berechnet. Dagegen sind auf dem langwelligen Spektralgebiet die von mir erhaltenen Werte und die Mittelwerte der früheren Bestimmungen so gut wie identisch sowohl beim Gebrauch der angegebenen als auch der berechneten Brechungsexponenten der Prismen[1].

---

# Die Verzeichnungsfehler bei okularmikroskopischen Messungen am Mikroskop.

Von
Dr. **Wilhelm Felgentraeger** in Charlottenburg.

Die bequemste und oft die einzige anwendbare Methode der mikroskopischen Längenmessung ist die Vergleichung des vom Objektiv (und beim Huygensschen Okular auch von dessen Kollektiv) entfernten reellen Bildes mit einem in der Bildebene angebrachten Maßstab (Glasskale, Schraubenmikrometer usw.).

Die Reduktion solcher Messungen setzt aber die Kenntnis des Abbildungsgesetzes der Einstellebene (*EE*) auf die Maßstabebene (*ME*) voraus. Gewöhnlich nimmt man an, daß zwischen den entsprechenden Gebilden beider Ebenen geometrische Ähnlichkeit bestehe. Dann bedarf es nur der Bestimmung einer Konstanten $a_1$, definiert durch die Gleichung

$$l = a_1 l', \tag{1}$$

in der $l$ eine Länge in der *EE*, $l'$ die entsprechende Länge in der *ME* bedeutet. Diese Beziehung gilt für alle Messungen, unabhängig von der Lage der Strecke $l'$ im Gesichtsfeld, $a_1$ ist das Reziproke der Vergrößerung durch das Objektiv (und ev. Kollektiv).

Besteht aber „Verzeichnung", so ist die Lage der Strecke $l'$ nicht mehr gleichgültig. Hat das optische System eine Rotationsachse, wozu auch gehört, daß *EE* und *ME* senkrecht auf der Achse des Linsensystems stehen, so zählt man die Längen $l$ und $l'$ am einfachsten von den Durchstoßungspunkten der Achse durch *EE* und *ME*. Man bestimmt dann die Lage eines Punktes in der *EE* durch Abbildung mittels zweier Polarkoordinatensysteme durch die Gleichungen

$$\varphi = \varphi', \qquad l = a_1 l' + a_3 l'^3 + (l'^5), \tag{2}$$

wo das letzte Glied Größen ausdrückt, die mindestens von fünfter Ordnung klein sind, wenn $l'$ es von erster Ordnung ist.

Existiert eine Symmetrieachse nicht oder ist ihre Lage unbekannt, so kann man von einem beliebigen einander entsprechenden Punktepaar in den beiden Ebenen ausgehende einander entsprechende Längen auf einander beziehen durch die Gleichung

$$l = a_1 l' + a_2 l'^2 + a_3 l'^3 + (l'^4) \tag{3}$$

oder

$$l = a_1 l' (1 + b_2 l' + b_3 l'^2) + (l'^4), \tag{3a}$$

[1] Siehe Note [1] auf Seite 188.

in denen aber $a_1$ und $a_2$ nicht mehr von dem Azimut $\varphi$ unabhängig sind; $a_3$ ist dageger nur dann mit $\varphi$ veränderlich, wenn die Größen vierter Ordnung ($l'^4$) einen Einfluſ haben.

Die Frage, ob Gleichung 1) genügt bzw. von welchem Betrag der Neigung de abbildenden Büschel gegen die Achse man zu 3) übergehen muß, ist bisher so gu wie nicht erörtert[1].

Ich habe nun zunächst für ein schwaches, aus einem einfachen Achromaten be stehendes Objektiv (Flint unten d. h. dem einfallenden Licht zugekehrt) unter de Annahme, daß die Eintrittspupille im Scheitel der untersten Fläche liegt, die Ver zeichnung berechnet und für $1 = 0$, 2 mm, 4 mm gefunden: $l' = 3{,}5685\,l$; $l' = 3{,}5686\,l$ $l' = 3{,}5685\,l$, also [wie in diesem Fall[2] zu erwarten] völlige Verzeichnungsfreiheit Aber die geometrisch-optischen Berechnungen sind ja nicht völlig beweiskräftig, auc mit einer beugungstheoretischen Betrachtung (falls eine solche ausführbar sein sollte würde man nicht zum Ziele kommen, da ja das Problem auch eine psychophysisch Seite hat.

Ich habe daher für eine Anzahl Objektive der gebräuchlichsten Formen di Verzeichnung durch Messung festgestellt, und zwar meist unter Benutzung eine Huygensschen Okulars, aber für ein Objektiv auch mit einem Ramsdenschen Okula so daß das Okular ohne Einfluß war.

Meine Versuchsanordnung war folgende:

Auf dem Tisch des Mikroskops wurde ein Schraubenmikrometer (Ganghöhe 0,2 mm Trommel in 100 Teile geteilt) durch Festgießen mit Wachskitt befestigt. Auf den Schlitten lag eine kleine in 0,1 mm geteilte Glasskale (Zeisssches Okularmikrometer) $z_1$ Auf der Okularblende des Mikroskops lag eine zweite, in Millimeter geteilte (ebenfall Zeisssche) Skale $z_2$ von 15 mm Länge. Ihre Striche waren, um physiologische Ein flüsse möglichst auszuschalten, sämtlich gleich lang und unbeziffert. Die Striche von $z$ erschienen wegen der Vergrößerung viel breiter und weniger dunkel als die von $z_2$ man konnte sie also durch Einstellen des Schraubenmikrometers gut durch die Strich von $z_2$ bisezieren. Schraubenmikrometer, untere und obere Skale waren mit den Ge nauigkeiten von $\pm 0{,}2$; $\pm 0{,}4$; $\pm 1\,\mu$ auf periodische bzw. innere Fehler untersucht Eingestellt wurden so viele Striche der Skale $z_2$, als die Okularblende zuließ (9 bi 15 Striche). Jede Messungsreihe wurde sofort in umgekehrter Reihenfolge der Ein stellungen wiederholt. Dabei haben sich nie die wahrscheinlichen Einstellungsfehle unzulässig überschreitende Abweichungen der Einstellungen gezeigt, beide Beobach tungen desselben Striches wurden daher gemittelt und weiter reduziert (Rechnun bis $0{,}1\,\mu$). Die Berechnung erfolgte nach der Methode der kleinsten Quadrate, die j in diesem Fall besonders einfache Formeln liefert. Zuweilen an demselben Tage, meis aber an einem anderen wurde nach Verschiebung von $z$ eine völlig unabhängige zweit Beobachtungsreihe gemessen; das erschien wünschenswert, weil ja die Teilfehler unte etwas anderen Vergrößerungs- und Beleuchtungsverhältnissen (auf einem Zeissschei Skalenkomparator) bestimmt waren.

---

[1] Nur I. Hartmann, *diese Zeitschr.* ***38.*** *S. 80. 1908*, macht auf die Notwendigkeit der Be rücksichtigung von Verzeichnungsfehlern aufmerksam, und F. v. Höhnel, „Die Mikroskopie de verwendeten Faserstoffe“, 2. Aufl., S. 4, behauptet eine kissenförmige Verzeichnung. An letztere Stelle ist aber anscheinend die Verzeichnung des gesamten Mikroskops (also auch der Augen linse) mit der hier allein wichtigen Verzeichnung durch Objektiv und evtl. Kollektiv verwechselt

[2] Eine dünne Linse ist ja bei Lage der Blende in der Linsenebene verzeichnungsfrei.

Die untersuchten Objektive zeigt schematisch die Abbildung. Es war:

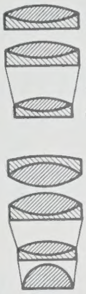
*a* ein alter Wasserleinscher Achromat, Flint unten;

*b* derselbe Achromat nach Vorschaltung einer ähnlichen Linse, so daß ein Listersches Satzobjektiv entstand;

*c* Zeiss-Objektiv $a_2$ ohne Vorderblende;

*d* Zeiss-Objektiv A, in Form ähnlich wie *b*, aber die obere Linse wahrscheinlich nicht für Alleinbenutzung korrigiert;

*e* Zeiss-Objektiv D, stärkeres Trockensystem mit halbkugeliger Frontlinse.




Es ergaben sich nun aus den Messungen folgende Formeln für die Beziehung von Längen $l$ in der *EE* zu Längen $l'$ in der *ME*:

| Objektiv | Okular | Anzahl der benutzten Striche der Skale $z_2$ | Formel, Längen in Millimetern |
|---|---|---|---|
| *a* | Wasserlein 1 (Huygens) | 11 | $l = 0{,}2555\ l'(1 - 0{,}25\cdot 10^{-3} l' + 120\cdot 10^{-6} l'^2)$<br>± 1  ± 4  ± 15 |
| *b* | " | 11 | $l = 0{,}10076\ l'(1 - 0{,}61\cdot 10^{-3} l' + 110\cdot 10^{-6} l'^2)$<br>± 10  ± 34  ± 70 |
| *c* | Zeiss 4 (Huygens) | 9 | $l = 0{,}52656\ l'(1 + 0{,}15\cdot 10^{-3} l' + 80\cdot 10^{-6} l'^2)$<br>± 22  ± 10  ± 40 |
| *d* | Zeiss 2 (Huygens) | 13 | $l = 0{,}17238\ l'(1 + 0{,}71\cdot 10^{-3} l' + 41\cdot 10^{-6} l'^2)$<br>± 14  ± 3  ± 14 |
| *e* | " | 13 | $l = 0{,}04055\ l'(1 + 0{,}81\cdot 10^{-3} l' + 48\cdot 10^{-6} l'^2)$<br>± 2  ± 24  ± 58 |
| *a* | Ramsden | 15 | $l = 0{,}18277\ l'(1 - 0{,}03\cdot 10^{-3} l' + 26\cdot 10^{-6} l'^2)$<br>± 6  ± 10  ± 13 |

Die unter den Konstanten der Formeln stehenden Zahlen mit Doppelvorzeichen geben die halbe Differenz der aus den beiden voneinander unabhängigen Messungsreihen (s. o.) hervorgehenden Werte, ausgedrückt in Einheiten der letzten angegebenen Dezimale.

Aus den Formeln sind folgende Schlüsse zu ziehen:

1. Die Objektivvergrößerung und damit die Konstante $a_1$ ist bei den beiden Messungsreihen bis auf Unsicherheiten von weniger als 0,1 % übereinstimmend gefunden. Demgemäß liegen die Objekte bei Scharfeinstellung bis auf weniger als 0,1 % in demselben Abstand[1] vom Objektiv, mißt man also z. B. die „optische Dicke" eines Deckglases durch Tubusverschiebung unter Verwendung von „Zeiss D" (Brennweite 4,2 mm), so kann man erwarten, diese Dicke bis auf 4 $\mu$ genau zu erhalten.

2. Die Konstante $b_2$, die bei einem völlig zentrierten System Null sein müßte, ist fast stets größer gefunden als ihr mittlerer Fehler. (Es handelte sich durchgängig um lange im Laboratorium benutzte Objektive und Mikroskope.) Benutzt man eine Strecke im Okular von höchstens 2,5 mm, so hat man Fehler, die 0,2 % der gemessenen Länge erreichen, nicht zu befürchten.

[1] Das gilt bekanntlich nur, wenn die Pupillen mit den Gaußschen Hauptpunkten zusammenfallen.

3. In Verbindung mit dem Kollektiv eines Huygensschen Okulars ver zeichnen alle Objektive tonnenförmig ($b_3 > 0$).

Der Betrag ist für alle Objektive von der gleichen Größenordnung. Schätzt ma ihn zu $0{,}0001\, l'^2$, so ändert sich der Reduktionsfaktor nur um $0{,}06\,^0/_0$, wenn ma nicht um 2,5 mm aus der Achse geht.

4. Die Verzeichnung wird zum weitaus größten Teil durch das Kollektiv hervorgerufen. Bei Benutzung eines Ramsdenschen Okulars verzeichne Mikroskopobjektive nicht merklich.

Man sollte daher — auch aus anderen Gründen — zu mikrometrischen Messunge nur Okulare mit Kollektiv oberhalb der Blende benutzen.

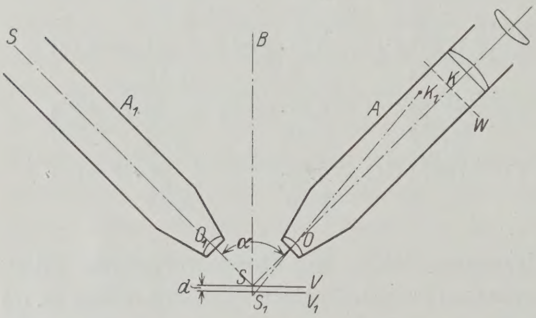
---

# Ein Apparat zur Messung von Verschiebungen in der Sehrichtung.

Von

**W. Linnik** in Leningrad.

In der Praxis der technischen Messungen müssen öfters Verschiebungen eine Oberfläche in Richtung ihrer Normale bestimmt werden. Der hier beschriebene Appara dient diesem Zweck (s. Abb.). Er besteht aus zwei Mikroskopen $A$ und $A_1$, deren Achse einen Winkel $\alpha$ miteinander bilden. Der Schnittpunkt der Achsen fällt mit de Achsenobjektpunkten zusammen. In der Bildebene des Mikroskops $A_1$ befinde sic senkrecht zur Ebene $A\,A_1$ ein beleuchteter Spalt $S$.




Der Tubus $A$ enthalte ein Okular in dessen Brennebene sich eine Skala $W$ mit zur Achsenebene $A\,A_1$ senkrechte Teilungen befindet. In $s$ wird mittels de Objektives $O_1$ ein Bild des Spaltes $S$ entworfen. In der, zur Winkelhalbie renden $s\,B$ des Winkels $\alpha$ senkrechten durch $s$ gehenden Ebene $V$ befinde sic ein Spiegel. Dann wird im Okular de Mikroskops $A$ ein Bild $K$ des Spalte erscheinen, welches eine bestimmte Lag in bezug auf die Skala hat. Wird der Spiegel in die der Ebene $V$ parallele Ebene $V_1$ um die Entfernung $d$ von $V$ verschoben, so wird das Bild $s_1$ des Spaltes $S$ um $2\,d$ von $s$ entfernt sein. Im Okular des Mikroskops $A$ wird $s_1$ an einem Orte $K_1$ abgebildet, welcher nicht in die Fokalebene des Okulars zu liegen kommt, da $s_1$ außerhalb der Objektebene des Objektives $O$ ist. In der Fokalebene des Okulars wird abe ein verschwommenes um $2\,d \sin\frac{\alpha}{2}\, m$ von $K$ entferntes Bild sichtbar sein; $m$ bedeutet hier die Vergrößerung des Objektives $O$. Bei nicht zu großen Verschiebungen $d$ und 0,2 nicht überschreitender Apertur des Objektivs, wird die Änderung der Schärfe des Bildes in $K_1$ noch wenig zu merken sein. Die Folge einer Verschiebung der Ebene $V$ um $d$ ist also eine Verschiebung eines Punktes in der Bildebene des Objektives $O$ um $2\,d \sin\frac{\alpha}{2}\, m$ und kann somit festgestellt, bei kleinen $d$ auch, analog den üblichen Ver-

---

[1] In den Ablesemikroskopen älterer astronomischer Instrumente findet man zuweilen eine zur Justierung des „Run“ bestimmte Konvexlinse zwischen Objektiv und Mikrometer. Sie ist wegen der tonnenförmigen Verzeichnung, die sie verursacht, zu verwerfen.

schiebungen der Objekte, normal zur Mikroskopenachse gemessen werden. Im speziellen Falle, daß $\alpha = 90^0$, ist die Verschiebung der Ebene $V$ um $d$ der Verschiebung eines Bildes in der Bildebene des Mikroskops $A$ um $d\sqrt{2}$ äquivalent.

Die Empfindlichkeit einer solchen Vorrichtung zu Längsverschiebungen eines von $V$ begrenzten Objektes wird sogar größer sein, als diejenige bei der üblichen Längemessungen mit demselben Mikroskop. Bei der früher erwähnten Apertur der Objektive $O$ und $O_1$ gleich 0,2 und der Brennweite der Objektive gleich 18 mm (Objektiv $A$ von Zeiss), vermindert sich die Schärfe des Bildes noch nicht merklich, wenn die Verschiebungen etwa 10 $\mu$ betragen. Folglich kann dieser Apparat zu Messungen von Verschiebungen um etwa 20 $\mu$ benutzt werden, mit einer Genauigkeit, die, wie weiter gezeigt wird, 1 $\mu$ übertrifft. Der Apparat kann somit Ähnliches leisten, wie das Optimeter. Dabei wird mit dem Mikroskop $A$ die Oberfläche $V$ unmittelbar betrachtet, so daß die Verschiebung eines ganz bestimmten Punktes der Oberfläche $V$ gemessen werden kann.

Betrachten wir die Empfindlichkeit des Apparates im Bereich, innerhalb dessen die Entfokussierung sich auf der Schärfe des Bildes noch nicht bemerkbar macht. Das Auflösungsvermögen des Mikroskops ist $\varrho = \frac{\lambda}{2a}$, wobei $\lambda$ die Wellenlänge und $a$ die Apertur des Objektivs bedeuten. Wenn man annimmt, daß eine Verschiebung des Spaltbildes im Gesichtsfeld des Mikroskops um 0,1 des Auflösungsvermögens, d. h. um 0,1 des sichtbaren Bildes festgestellt werden kann, die Einstellung eines Fadens auf die Mitte des Bildes mit einer noch fünfmal größeren Genauigkeit bewirkt werden kann, so gewinnt man für die kleinste mit dieser Vorrichtung noch festzustellende Verschiebung und für die Genauigkeit, mit welcher auf eine gegebene Fläche eingestellt werden kann, folgende Werte. Die kleinste gerade noch merkliche Verschiebung normal zur Mikroskopenachse ist $\frac{\lambda}{20a}$ und die kleinste Längsverschiebung $\frac{\lambda\sqrt{2}}{20a}$. Bei Gebrauch des oben erwähnten Objektivs $A$ von Zeiss mit der Apertur 0,2 wird die Empfindlichkeit der Vorrichtung $\Delta d$ für gelbes Licht zu $\Delta d = \frac{0{,}6\sqrt{2}}{20 \cdot 0{,}2} = 0{,}21\ \mu$, für die Genauigkeit der Einstellung der Ebene $V$ erhalten wir einen fünfmal kleineren Wert, d. h. 0,04 $\mu$.

Ist die Fläche $V$ nicht eben, so wird das Bild $s$ doch deutlich im Mikroskop $A$ zu sehen sein, da es entweder in die spiegelnde Fläche fällt, oder sehr wenig von ihr entfernt ist. Dasselbe wird auch der Fall sein, wenn die Oberfläche $V$ matt ist, denn auf ihr wird ein reelles Bild $S$ entworfen. Bei einer rauhen Fläche liefert das Spaltbild das Profil der Oberfläche $V$.

Das schnelle Sinken der Schärfe des Spaltbildes $K_1$ im Gesichtsfeld des Mikroskops $A$ bleibt jedoch ein Nachteil, da es nicht erlaubt, größere Verschiebungen als 10 $\mu$ genau zu messen.

Folgende Abänderung ermöglicht den Meßbereich der Vorrichtung bis zu 0,3 bis 0,4 mm zu erweitern.

Es ist leicht ersichtlich, daß, wenn die Achsen der Mikroskope $A$ und $A_1$ den Winkel $90^0$ bilden und $V$ senkrecht zur Winkelhalbierenden $sB$ steht, der im Mikroskop $A$ scharf sichtbare Ort der Fläche $V$ bei ihrer Verschiebung in Richtung der Winkelhalbierenden des Winkels $\alpha$ stets in den Schnittpunkt der Achse des Mikroskops $A$ mit dieser Fläche fällt. Könnte man einen leuchtenden Faden längs der Achse des

Mikroskops $A_1$ anordnen, so wäre im Mikroskop $A$ bei beliebiger Lage der zu $s\,B$ normalen Ebene ein von einem hellen Hof umgebener scharfer Punkt zu sehen. Dies unabhängig davon, ob die Ebene $V$ eine spiegelnde oder eine matte ist. Einfacher ist es jedoch, den Spalt $S$ in der zu $A\,A_1$ senkrechten Ebene schräg anzuordnen und zwar so, daß seine Projektion auf die zur Achse $A_1$ normale Ebene die Strichlänge der Skala $W$ nicht übersteigt und seine Länge gleich $d_1 \sqrt{2} \left(\frac{O\,S}{O\,s}\right)^2$ ist; hier bedeutet $d_1$ die größte zu messende Verschiebung der Ebene $V$.

In diesem Falle ist im Mikroskop $A$ ein kurzer scharfer Strich mit verschwommenen Enden sichtbar. Dieser Strich verschiebt sich längs der Skala proportional zur Verschiebung der Ebene $V$ und ein wenig in Richtung der Skalenstriche.

Man erhält somit einen Apparat, welcher erlaubt:

1. Verschiebungen in der Sehrichtung bis zu Bruchteilen eines $\mu$ genau zu messen.

2. Oberflächen in eine gegebene Lage mit einer Genauigkeit von 0,1 $\mu$ mindestens einzustellen.

3. Die Teile der Oberfläche, welche gemessen oder verschoben werden, zugleich zu betrachten. Das Fehlen jeglicher Berührung zwischen Apparat und dem zu messenden Gegenstand und der freie Raum über dem Objekt erlauben die Messungen auch in den Fällen durchzuführen, wenn die anderen Methoden (Optimeter, Mikroskop mit großer Apertur) versagen.

Mögliche Anwendungen: Messung der Dicke von Linsen mit großer Krümmung, Kontrolle der richtigen Einstellung der Linsen auf der Zentrierbank, Benutzung an Stelle eines Fühlhebels bei der Kontrolle gedrehter Gegenstände usw.

Optisches Staatsinstitut, Leningrad.

---

# Ein elektrischer Nickelofen für metallkundliche Untersuchungen.

Von

**H. v. Steinwehr** und **A. Schulze** in Charlottenburg.

(Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.)

Für Zwecke der Messungen der thermischen Ausdehnung bei höheren Temperaturen ist von Holborn[1] ein elektrischer Ofen angegeben worden, dessen Kern aus einem massiven Nickelzylinder besteht. Er hatte etwa die Höhe von 55 cm und einen Durchmesser von 9 cm. Parallel zur Achse waren verschiedene Löcher gebohrt, von denen die weiteren die zu untersuchenden Materialien und die engeren die Thermoelemente zur Messung der Temperatur aufnehmen sollten. Zum Heizen diente eine Wicklung aus Nickelchrom (Cekas), deren Windungen so angeordnet waren, daß das Temperaturgefälle längs der Achse gering war. Für die Erfüllung dieser letzteren Bedingung sorgte außerdem in weitem Maße neben einer gut wärmeisolierenden Umhüllung die gute Wärmeleitfähigkeit des Nickels bei höheren Temperaturen. Im Zusammenhang hiermit steht noch ein weiterer Vorteil, den der Nickelofen vor anderen elektrischen Öfen besitzt, nämlich der, daß er beim Anheizen sich schnell auf die gewünschte Temperatur einstellt. Für Ausdehnungsmessungen, bei denen es in erster Linie auf die Konstanthaltung der Temperatur ankommt, hat dieser Ofen sich sehr gut bewährt.

[1] Holborn und Otto, *diese Zeitschr.* ***46***. S. 416. 1926.

Bei der Bestimmung von Umwandlungspunkten, sowie von Temperaturkoeffizienten des elektrischen Widerstandes von Metallen und Legierungen kommt es außer auf die Konstanthaltung der Temperatur im Interesse eines raschen Arbeitens auch noch auf die schnelle Einstellung eines bestimmten Punktes nicht nur bei steigender, sondern auch bei fallender Temperatur an. Die Geschwindigkeit des Anstiegs läßt sich, wie bereits

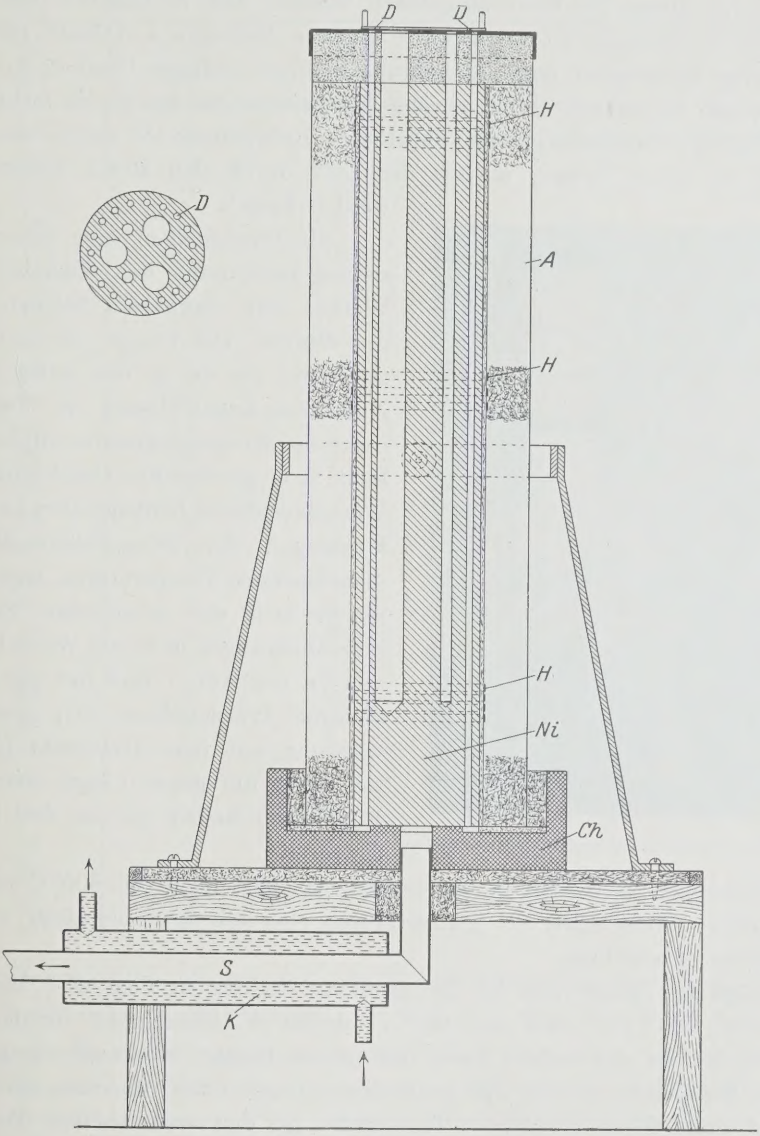



Abb. 1. Querschnitt des Nickelofens.

angedeutet, in ausreichender Weise durch die Heizung beeinflussen, während die des Abfalls durch den natürlichen Wärmeausgleich mit der Umgebung gegeben ist, der bei dem guten Wärmeschutz des Ofens eine ungebührlich lange Zeit in Anspruch nimmt.

Um eine raschere Wärmeabfuhr zu erzielen, wurde bei dem neuen Ofen der Nickelzylinder (*Ni*) — vgl. Abb. 1 — dessen Höhe 60 cm und dessen Durchmesser 10 cm beträgt, mit 20 5 mm weiten Durchbohrungen (D), welche in einem Abstande von 5 mm von dem Mantel parallel zur Achse des Zylinders verlaufen, versehen, wie es

aus der Zeichnung zu ersehen ist, die einen Aufriß des Ofens und einen Querschnitt des Nickelzylinders gibt.

Die mechanische Bearbeitung des Nickelzylinders, welche wegen der Härte des Materials ungewöhnliche Schwierigkeiten bot, so daß derselbe in drei Teile zerlegt werden mußte, ist in mustergültiger Weise in der Hauptwerkstatt der Reichsanstalt unter der Leitung von Herrn Dr. Keil ausgeführt worden. Der Nickelblock war von den Vereinigten Deutschen Nickelwerken A. G. in Schwerte a. d. Ruhr geliefert.

Der fertige Zylinder ist unter Abdichtung in einen niedrigen Chamottezylinder (*Ch*) so eingefügt, daß die unteren Öffnungen der Durchbohrungen den Boden nicht berühren. Von der Mitte des Chamottezylinders führt eine Rohrleitung (*S*) durch eine Kühlvorrichtung (*K*) zu einer Pumpe, mittels der Luft durch den Block hindurchgesaugt werden kann[1].

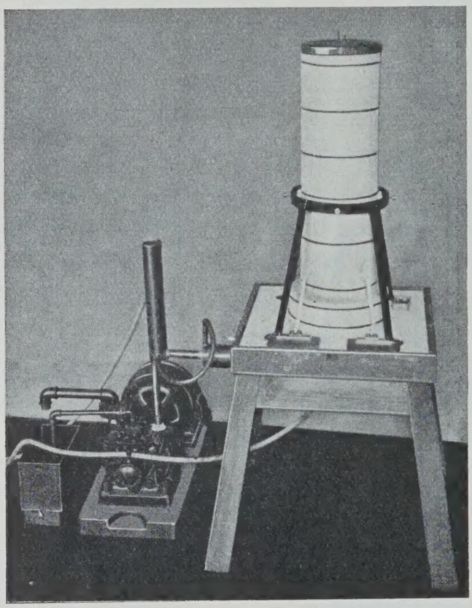


Abb. 2. Ansicht des Nickelofens mit angeschlossener Pumpe.

Als Pumpe dient eine rotierende Wasserring-Luftpumpe der Siemens-Schuckert-Werke; ihre Saugkraft beträgt 300 Liter pro Minute. Die Pumpe ist in der Abb. 2 zu sehen, wo sie an den fertig montierten Nickelofen angeschlossen ist. Durch Regulieren der Strömungsgeschwindigkeit der Luft kann jede gewünschte Geschwindigkeit des Wärmeausgleichs herbeigeführt werden. Wie Messungen der Temperaturverteilung bei verschiedenen Temperaturen ergeben haben, macht sich ein schädlicher Einfluß der Durchbohrungen in keiner Weise bemerklich.

In der Abb. 1 sind der aus Asbest bestehende Wärmeschutz (*A*), sowie die Bewicklung mit dem Heizdraht (*H*), welche sich über die ganze Länge erstrecken, der Einfachheit halber nur an drei Stellen angedeutet.

Den Nickelofen wird man im allgemeinen für Messungen bis 800° C unbedenklich benutzen können; Messungen bei Temperaturen oberhalb 800° bis 1000° sind nur in Ausnahmefällen auszuführen.

Die folgende Tabelle gibt die Temperaturverteilung in dem Ofen bei den Temperaturen 200°, 300°, 400°, 500° und 600° C; sie ist in Abhängigkeit von der Eintauchtiefe (in cm) bis an das untere Ende der (40 cm langen) Bohrungen gemessen. Die angegebenen Temperaturen sind auf ganze Grade abgerundet. Wie man aus der Tabelle ersieht, sind die Gebiete konstanter Temperatur bei den verschiedenen Temperaturen recht groß, so daß die Vorbedingungen für die Messungen an den zu untersuchenden Materialien günstig sind.

Die Zahlen der Tabelle zeigen, daß der bei tiefen Temperaturen sehr ausgedehnte Bereich gleicher Temperatur mit steigender Temperatur immer mehr zusammenschrumpft, was durch die Art der Verteilung der Bewickelung über den Zylinder mit Heizdraht verursacht wird. Um auch für höhere Temperaturen als 600° ausreichende Räume gleicher

---

[1] In der Rohrleitung (*S*) befindliche Kupferspäne erhöhen die Geschwindigkeit der Wärmeabgabe der hindurchgesaugten Luft.

Die Temperaturverteilung im Nickelofen bei verschiedenen Temperaturen.

| Eintauchtiefe in cm | bei 200° | bei 300° | bei 400° | bei 500° | bei 600° |
|---|---|---|---|---|---|
| 10 | — 4° | — 7° | — 18° | — 23° | — 29° |
| 11 | — 4 | — 7 | — 17 | — 22 | — 27 |
| 12 | — 3 | — 6 | — 15 | — 19 | — 25 |
| 13 | — 2 | — 5 | — 14 | — 17 | — 23 |
| 14 | — 2 | — 4 | — 12 | — 16 | — 21 |
| 15 | — 1 | — 4 | — 11 | — 14 | — 19 |
| 16 | — 1 | — 3 | — 10 | — 12 | — 17 |
| 17 | — 1 | — 2 | — 8 | — 11 | — 16 |
| 18 | 0 | — 2 | — 7 | — 10 | — 14 |
| 19 | 0 | — 2 | — 6 | — 8 | — 13 |
| 20 | 0 | — 1 | — 5 | — 7 | — 11 |
| 21 | 0 | — 1 | — 5 | — 6 | — 10 |
| 22 | 0 | — 1 | — 4 | — 6 | — 9 |
| 23 | 0 | — 1 | — 4 | — 5 | — 8 |
| 24 | 0 | 0 | — 3 | — 4 | — 7 |
| 25 | 0 | 0 | — 3 | — 4 | — 6 |
| 26 | 0 | 0 | — 2 | — 3 | — 5 |
| 27 | 0 | 0 | — 2 | — 3 | — 5 |
| 28 | 0 | 0 | — 2 | — 3 | — 4 |
| 29 | 0 | 0 | — 1 | — 2 | — 3 |
| 30 | 0 | 0 | — 1 | — 2 | — 3 |
| 31 | 0 | 0 | — 1 | — 1 | — 2 |
| 32 | 0 | 0 | — 1 | — 1 | — 1 |
| 33 | 0 | 0 | — 1 | — 1 | — 1 |
| 34 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 35 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 36 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 37 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 38 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 39 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Temperatur zu erhalten, ist geplant, den Mantel des Ofens an seinem oberen Ende mit einer Zusatzwicklung zu versehen.

Der große Temperatursprung am oberen Ende des Ofens im Intervall von 300 bis 400° C hängt vermutlich mit dem bei etwa 350° liegenden Curiepunkt des Nickels zusammen, da mit der Umwandlung eine wesentliche Verschlechterung des Wärmeleitvermögens verbunden ist.

Dieser Ofen ist bereits für viele metallkundliche Untersuchungen benutzt worden und hat sich bisher in jeder Weise durchaus gut bewährt.

# Über einen Komparator für Ausdehnungsmessungen fester Körper bis zu 1400° C.

Von

**Willi M. Cohn** in Berlin-Dahlem.

Inhaltsangabe. Zur Bestimmung des Ausdehnungsverhaltens fester Körper ist ein Kom parator entwickelt worden, mit dessen Hilfe Präzisionsmessungen der Ausdehnung in Abhängigkei von der Temperatur bis zu etwa 1400° C vorgenommen werden können. Nach einer Übersich über die früheren Komparatoren werden Angaben über die neue Bauart gebracht und die Ergeb nisse einiger Temperaturverteilungsmessungen usw. mitgeteilt.

## 1. Einleitung.

Zur Ermittlung des Ausdehnungsverhaltens fester Körper bei der Erhitzung wir zweckmäßigerweise zunächst für ein Normal- oder Standardmaterial die Ausdehnung i Abhängigkeit von der Temperatur nach einer direkten Methode statisch untersucht; fü Präzisionsmessungen kommt nur der Komparator in Betracht. Bei weiteren Unte suchungen anderer Materialien wird dann derart vorgegangen, daß die Ausdehnung de zu untersuchenden Proben mit der des Normalmaterials verglichen wird — vgl. beispiels weise W. M. Cohn[1]. Im folgenden wird zunächst eine Übersicht über frühere Bauarte von Komparatoren gegeben, dann über einen neuen Komparator berichtet, welcher Aus dehnungsmessungen bis zu 1400° C durchzuführen erlaubt.

## 2. Frühere Komparatormessungen.

Komparatorbauarten sind in erster Linie in der Physikalisch-Technische Reichsanstalt und im Bureau of Standards entwickelt worden. Der zu unte suchende Probekörper befindet sich in Stabform in einem horizontalen Ofen, welche eine möglichst gleichförmige Temperaturverteilung über die ganze Meßlänge besitz Bei der Apparatur der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt wird die Läng des Probestabes bei verschiedenen Temperaturen durch Anvisieren von Marken de Stabes mittels zweier feststehender Mikroskope mit Okularschraubenmikrometern be stimmt. — Eine ähnliche Bauart ist vom Bureau of Standards ausgeführt worde

Bei einer anderen Ausführungsform des Bureau of Standards trägt der Probe körper durch Gewichte beschwerte Fäden, welche aus dem eigentlichen Ofen heraus hängen und deren Verschiebung mikroskopisch beobachtet wird; die Mikroskope selbs sind auf einem beweglichen Schlitten angeordnet. — Komparatormessungen liegen vo von Holborn und Day[2], Holborn und Grüneisen[3], Holborn und Henning[4]

---

[1] Willi M. Cohn, Über Wärmeleitfähigkeit, Wärmeausdehnung, spezifische Wärme un einige andere thermische Eigenschaften von Mineralien und keramischen Massen. *Ber. d. D. keram Ges.* **9**. *S. 239—299. 1928.*

[2] L. Holborn und A. Day, Über das Luftthermometer bei hohen Temperaturen. *Ann. Phy* **2**. *S. 505—545. 1900.* — Über die Ausdehnung einiger Metalle in hoher Temperatur. *Ann. Phy* **4**. *S. 104—122. 1901.*

[3] L. Holborn und E. Grüneisen, Über die Ausdehnung von Porzellan und Glas in hoh Temperatur. *Ann. Phys.* **6**. *S. 136—145. 1901.*

[4] L. Holborn und F. Henning, Über die Ausdehnung des geschmolzenen Quarzes, *An Phys.* **10**. *S. 446—448. 1903.*

Dittenberger[1], Day und Sosman[2], Rieke[3], Souder und Hidnert[4] und Hidnert und Sweeney[5]. Bei den meisten Untersuchungen wurden maximal Temperaturen von 1000° C erreicht, nur Day und Sosman konnten bei einigen Messungen mehr als 1300° C erzielen.

Nach einem anderen Prinzip arbeiteten bei der Untersuchung von Metallen Holborn und Valentiner[6]: Ein zu untersuchender Streifen des Probekörpers wurde durch direkte Widerstandserhitzung auf hohe Temperatur gebracht und seine Verlängerung mit Hilfe von Mikroskopen ermittelt. Auf diese Weise ließen sich Temperaturen bis zu 1600° C erreichen.

### 3. Der neue Komparator.

Es wurde von der Komparatorbauart der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt ausgegangen, d. h. ein feststehender Ofen und feststehende Mikroskope angeordnet. Durch geeignete Maßnahmen gelang es, die Messungen maximal bis zu etwa 1400° C zu führen, ohne daß die Genauigkeit merklich gegenüber den bisherigen Komparatoruntersuchungen bis zu 1000° C herabgesetzt wurde. Die Abb. 1 zeigt schematisch den Aufbau des Komparators und eines dazu gehörigen Ofens mit Platindrahtwicklung.

Der Probekörper *B*, dessen Ausdehnung in Abhängigkeit von der Temperatur untersucht werden soll, besitzt eine Gesamtlänge von etwa 220 mm bei 8 bis 14 mm Durchmesser. Er ist der Länge nach zur Führung eines Thermoelements durchbohrt und auf zwei Ringen aus feuerfester Marquardtscher Masse gelagert. Die Unterlagen sind im Abstand von $^2/_{10}$ der Länge des Probekörpers von den Enden angeordnet — entsprechend der Gleichung für einen Träger auf zwei Stützen. An den Stabenden sind auf je etwa 20 mm Länge parallele, durch die Achse gehende Ebenen angeschliffen; senkrecht zur Stabachse befinden sich an beiden Enden je $2 \times 6$ Bohrungen von 0,1 mm Durchmesser in der aus Abb. 2 ersichtlichen Weise, deren gegenseitiger Abstand ungefähr 2 mm beträgt. Diese Bohrungen erscheinen auf den Schliffflächen als Punkte; der Abstand der mittleren Querbohrungen beträgt etwa 200 mm — entsprechend der Meßlänge der Apparatur.

Die Einführung von Wolfram- oder Platindrähten in die kleinen Bohrungen hat sich nicht bewährt. Infolgedessen wurden die Bohrungen offen gelassen; es war jedoch wesentlich darauf zu achten, daß ihre Ränder scharfkantig begrenzt waren, um eine genaue Einstellung der Mikroskope zu ermöglichen. Es sei darauf hingewiesen, daß diese Ausführungsform der Marken die Nachteile von Rillen oder Strichen, welche

---

[1] W. Dittenberger, Über die Ausdehnung von Kupfer, Eisen, Aluminium, Messing und Bronze in hoher Temperatur. *Zeitschr. V. D. I.* **46.** *S. 1532—1536. 1902.*

[2] A. L. Day *and* R. B. Sosman, *High temperature gas thermometry. Publ. Carnegie Inst. Nr. 157. 1911.*

[3] R. Rieke, Bestimmung der Wärmeausdehnung einiger keramischer Massen. Verlag *Keram. Rundschau, 1914.*

[4] W. Souder *and* P. Hidnert, *Thermal expansion of insulating materials. Scient. Pap. Bur. of Stand, Nr. 352. 1919. — Measurements on the thermal expansion of fused silica. Scient. Pap. Bur. of Stand., Nr. 524. 1926.*

[5] P. Hidnert *and* W. T. Sweeney, *Thermal expansion of graphite. Bur. of Stand. Techn. Pap. Nr. 335. 1927.*

[6] L. Holborn und S. Valentiner, Eine Vergleichung der optischen Temperaturskale mit dem Stickstoffthermometer bis 1600° C. *Ann. Phys.* **22.** *S. 1—48. 1907.*

in die Enden des Probestabes eingeritzt sind, vermeidet; die letzteren ergeben leicht — bei seitlicher Verschiebung der Marken im Gesichtsfeld der Mikroskope — Parallaxe durch Schattenwirkung.

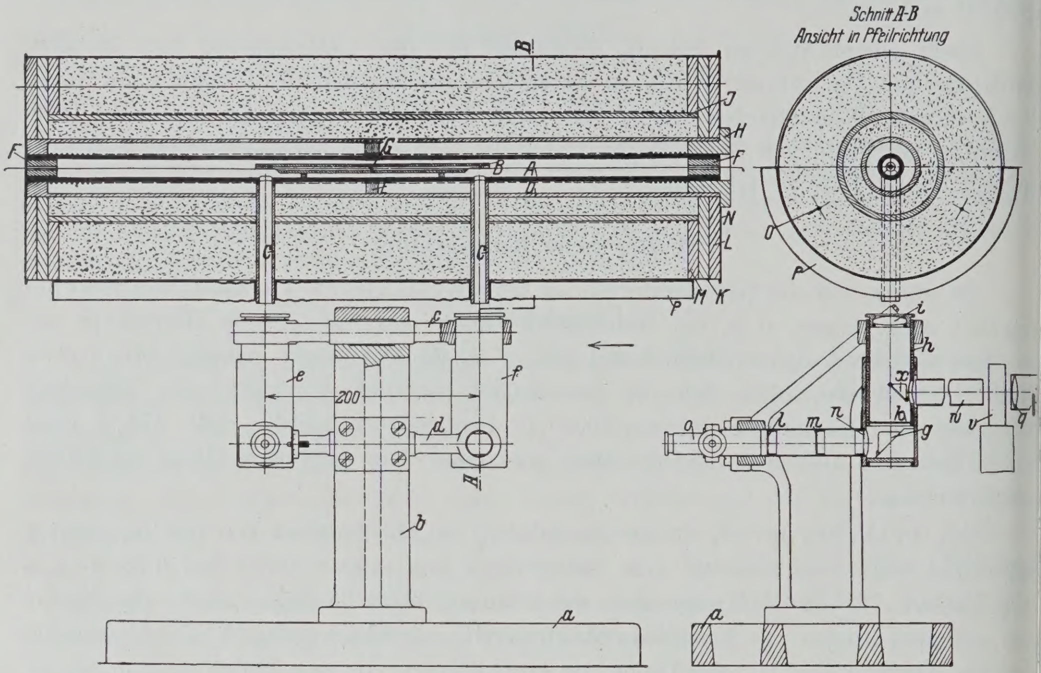



Abb. 1. Komparator und Ofen für Ausdehnungsmessungen nach der direkten Methode im Temperaturgebiet 0—1400° C.

*a* = Grundplatte,
*b* = Gestell,
*c*, *d* = Mikroskopträger.
*e*, *f* = Mikroskope,
*g* = Prisma,
*h* = ausziehbarer Tubus,
*i* = Objektiv,
*k* = Lochblende,
*l*, *m*, *n* = Blenden,
*o* = Okularschraubenmikrometer,
*p* = Bogenlampe,
*q* = Kondensor,
*v* = Küvette,
*w* = Beleuchtungsrohr,
*x* = Beleuchtungsprisma,
*A* = Heizrohr,
*B* = Probekörper,
*C* = Beobachtungsrohr,
*D* = Äußeres Rohr,
*E* = Diaphragma,
*F* = Heizstopfen,
*G* = Thermoelement,
*H* = Porzellanbuchse,
*J* = äußeres Heizrohr,
*K* = Ofenmantel,
*L*, *M* = Schamotteplatten,
*N* = Stirnwände,
*O* = Anker,
*P* = Wassermantel.

Die Mikroskope *e* und *f* werden durch massive Halter *c* und *d* aus Indilatansstahl — einem Material von ähnlichen Eigenschaften wie Invarstahl — gehalten, welche in dem schweren gußeisernen Gestell *b* von I-förmigem Querschnitt befestigt sind; *b* ist mit einer gußeisernen Grundplatte *a* in Gitterkonstruktion verschraubt.

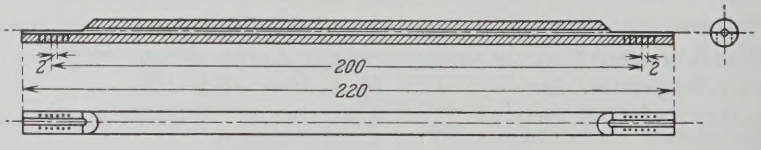



Abb. 2. Probekörper.

Es gelangen gebrochene Mikroskope zur Anwendung: In der optischen Achse jede[s] Mikroskopes ist das Prisma *g* angeordnet, welches den Strahlengang um 90° ablenkt. Der Tubus der Mikroskope ist mit Hilfe des Rohres *h* ausziehbar; er enthält das Objektiv *i*, in dessen hinterem Brennpunkt eine Lochblende *k* angeordnet ist. Au[f] diese Weise wird vor dem Objektiv telezentrischer Strahlengang erhalten, so daß ge-ringe Fokussierungsfehler, Verziehungen der Probekörper in Richtung der Mikroskop

chse usf. keine Meßfehler ergeben können. — Weitere Blenden $l$, $m$ und $n$ befinden ich im horizontalen Teil des Mikroskoptubus.

Als Okulare werden Okularschraubenmikrometer $o$ mit beweglichem Doppelfaden nd Fadenkreuz verwendet, in deren Bildfeldebenen der Gegenstand scharf abgebildet rscheint (Eigenvergrößerung der Mikroskope 2- bzw. 4 fach). Die Mikrometerschrauben estatten eine Ablesung auf zehntausendstel Millimeter, Hunderttausendstel können eschätzt werden.

Zur Beleuchtung des Objektes dienen die Bogenlampen $p$ mit Kondensor $q$ und orgeschalteter Küvette $v$; das Lichtbündel jeder Lampe fällt durch ein innen mattiertes Beleuchtungsrohr $w$ auf das schwenkbare Prisma $x$, welches bis zur Mitte des 'ubus reicht und zur Beleuchtung des Objektes dient. Durch geeignete Justierung er Beleuchtungsvorrichtung läßt sich eine Abbildung des Kraters der Bogenlampe uf dem Probestab bewirken.

Die genaue Ermittlung der Entfernung der Mikroskopachsen und deren spätere Kontrolle, sowie die Einstellung der Vergrößerung der Mikroskope erfolgen mit Hilfe ines Eichstabes aus Messing, der an seinen Enden bis auf die Achse abgeschliffen st und dort Silbereinlagen mit Millimeterteilung besitzt.

Von besonderer Wichtigkeit für die Genauigkeit der Messungen ist die Einhaltung iner möglichst gleichförmigen Temperaturverteilung auf der ganzen Meßlänge les Probekörpers im Ofen. Der in den Abb. 1 gezeichnete Ofen besitzt ein Heizohr $A$, welches eine Reihe von Einzel- und Zusatzwicklungen trägt, von denen ede gesondert reguliert werden kann. (Bezüglich der Einzelheiten muß auf eine demiächst an anderer Stelle erscheinende ausführliche Arbeit des Verfassers verwiesen verden.) Auf diese Weise ist zwar gegenüber der Anordnung von Holborn und Mitirbeitern und Day und Sosman, welche eine einzige Wicklung auf der ganzen Ofenänge mit verschiedenem Windungsabstand verwenden, eine gewisse Komplizierung gegeben, doch gelang es so, durch eine Reihe von Vorversuchen die günstigste Energieufnahme für die Wicklungen zu ermitteln, welche eine gleichförmige Temperaturverteilung auf der ganzen Meßlänge der Probekörper bei verschiedenen Ofentemperaturen ergibt.

Das Heizrohr $A$ hat eine Länge von 650 mm bei 18 mm Innen- und 24 mm Außendurchmesser; es ist aus unglasierter, feuerfester Marquardtscher Masse der Staatlichen Porzellanmanufaktur Berlin hergestellt und besitzt auf seiner Unterseite im Abstande von 200 mm zwei Schlitze von je $6 \times 10$ mm Öffnung. Unterhalb der Schlitze sind Porzellanrohre $C$ angeordnet, welche zur Beobachtung der Meßmarken des Versuchskörpers mit Hilfe der Mikroskope $e$ und $f$ dienen. Das Rohr $A$ ist von einem zweiten Marquardtrohr $D$ von 46/52 mm Durchmesser umgeben; zur Verringerung von Konvektionsströmungen, welche bereits durch die Anordnung der Schlitze an der tiefsten Stelle des Heizrohres vermindert werden, ist zwischen $A$ und $D$ das Diaphragma $E$ vorgesehen. — An beiden Ofenenden ist je ein Heizstopfen $F$ angeordnet, welcher mit Chromnickeldraht von 0,5 mm Durchmesser bewickelt ist und als „Wärmestau" dient; die Stopfen sind zur Durchführung des Thermoelementes $G$ der Länge nach durchbohrt.

Die auf dem Heizrohr $A$ befindlichen Wicklungen sind mit Marquardtscher Masse gegeneinander isoliert und gegen Verschieben gesichert. — Rohr $D$ besitzt an einem Ende eine Verstärkung zur Auflagerung von $A$, fernerhin Bohrungen für die Rohre $C$; am anderen Ende wird $A$ durch eine Buchse $H$ aus Porzellan getragen, in welche auch die Klemmen für die Stromzuleitungen eingegipst sind.

Es folgt dann ein Porzellanrohr $J$ von 91/101 mm Durchmesser, welches a seiner Außenseite eine weitere Heizwicklung aus Cekasdraht von 1,0 mm Durchmess trägt, der ebenfalls durch Marquardtsche Masse isoliert und festgelegt ist. Die Kaskadenwicklung dient zur Beherrschung der radialen Temperaturverteilung d Ofens. Die Rohre $D$ und $J$ sind gegen den äußeren Ofenmantel $K$ aus blanke Aluminiumblech — als Strahlungsschutz — mit Hilfe von mehreren Schamotteplatten und $M$ abgestützt. Die Zwischenräume zwischen $D$ und $J$ bzw. $J$ und $K$ sind m Magnesiapulver ausgefüllt. Die Stirnwände $N$ des Ofens sind durch drei Anker untereinander versteift. Der Ofen ruht auf zwei $A$-förmigen Stützen, welche a schweren Eisenplatten befestigt sind. Komparator und Ofen haben somit getrenn Auflageflächen auf dem massiven Tisch, welcher die ganze Apparatur trägt. D Heizung des inneren Rohres erfolgt über einen Transformator mit 220/70 Volt Wechse strom, die der Kaskadenwicklung mit 220 Volt Wechselstrom.

Zum Schutz des Komparators vor Erwärmung durch den Ofen ist ein Wasse mantel $P$ vorgesehen, welcher die untere Hälfte des Ofens umgibt und der durc Kühlwasser mehrfach der Länge nach durchströmt wird. — Schwierigkeiten bot zu nächst die Durchführung der Schaurohre $C$ durch den Wassermantel, da infolge d ungleichförmigen Ausdehnung seiner Innen- und Außenflächen bei Erwärmung d Ofens nur schwer eine völlige Dichtung zu erreichen war. Es wurden daher in d in den Abbildungen angedeuteten Weise in die Wandungen des Mantels je dr „Sicken" — wellenförmige Erhebungen und Vertiefungen — getrieben, welche d Kupferrohre, innerhalb derer die Schaurohre geführt werden, konzentrisch (in d Abwicklung des Mantels) umgeben. Auf diese Weise gelang ein Ausgleich der Wärm spannungen im Mantel und damit seine endgültige Dichtung bis zu maximalen Ofe temperaturen. Zur Abführung von Schwitzwasser, welches sich leicht am Wasse mantel niederschlägt, sind unterhalb der Schaulöcher kleine — hier nicht gezeic nete — Sammelgefäße mit Wasserabfluß angeordnet.

Die Temperaturmessung des Probekörpers wird mit Hilfe des Thermo elementes $G$ bewerkstelligt — für Temperaturen bis 1400° C Platin/Platinrhodium Die Lötstelle des Thermoelementes befindet sich in der Achse des Versuchsstabes $B$ Durch Hin- und Herbewegen des Thermoelementes wird die Temperaturverteilung au der ganzen Länge des Probestabes abgetastet. Jeder Schenkel des Elementes ist nac einem Ende des Ofens geführt und wird dort von einem Halter aufgenommen. — Ein weiteres Thermoelement ist zur Kontrolle der Temperatur der Kaskadenwicklun angeordnet (hier nicht gezeichnet). Die zweiten Lötstellen der Thermoelemente be finden sich in Dewar-Gefäßen mit schmelzendem Eis.

Die Vornahme der Messungen mit dem Komparator geschieht in folgende Weise: Zunächst wird mit Hilfe des Eichstabes die Entfernung der Mikroskopmitte und die Vergrößerung der Mikroskope geprüft. Dann wird durch Beobachtung de Stellung der Meßmarken die Ausgangslänge des zu untersuchenden Probekörpers be Zimmertemperatur ermittelt. (Nach Möglichkeit findet hierbei die Einstellung auf j zwei Meßmarken in den Mikroskopen statt, um eine gegenseitige Kontrolle der Mes sungen zu erhalten.) Nunmehr wird die Erhitzung eingeleitet; nachdem sich für länger Zeit eine konstante Ofentemperatur eingestellt hat, wird die Stellung der Marken de Stabes mit den Mikroskopen abgelesen, dann die Temperaturverteilung durch Ver schieben des Thermoelementes in der Stabachse von 10 zu 10 mm ermittelt, schließlic von neuem die Markenstellung abgelesen. Nun wird die Energiezufuhr zu dem Ofe erhöht und nach Einstellung einer konstanten Temperatur die Ablesung wiederholt usf.

Durch eine Reihe von Versuchen wurde festgestellt, daß keine Einwirkungen der örperwärme des Beobachters oder der Ofenwärme auf die gegenseitige Lage der likroskope stattfinden. Weiterhin wurde durch Versuche die Ausdehnung von Indiitansstahl ermittelt und gefunden, daß dieselbe bis zu Temperaturen von 50° C ußerst geringe Werte aufweist. — Die Genauigkeit der Längenmessungen mit dem omparator beträgt $\pm$ 0,05%, die der Temperaturmessungen $\pm$ 0,1% für die maximal rreichten Temperaturen.

Die Beobachtung der Verschiebung der Marken des Probestabes mit wachsender emperatur wird zweckmäßigerweise bei künstlicher Beleuchtung vorgenommen, velche auch dann erfolgt, wenn der Probekörper bereits selbstleuchtend geworden ist oberhalb von etwa 600° C). — Bei künstlicher Beleuchtung kann die Einstellung der larken ungleich schärfer vorgenommen werden, da dann die Marken als schwarze unkte auf hellem Grunde erscheinen, während sie sonst als hellere Punkte auf einem n Rotglut oder dgl. leuchtenden Untergrunde auftreten.

Bei etwa 1100° C zeigte es sich, daß die Marken des Probekörpers mit bloßem uge — auch bei künstlicher Beleuchtung — nur noch schwer erkennbar waren. Es wurde daher vor die Okularlinse ein Blauglasfilter von 1 mm Stärke geschaltet, velches einen großen Teil der Strahlung der Bogenlampe und der des Ofens absorbiert ınd das Intensitätsmaximum von Gelb nach Blau verschiebt, somit die Beobachtungsnöglichkeit wesentlich verbessert. — Zur weiteren Erhöhung der Ablesegenauigkeit bei maximalen Temperaturen wurde ein Kunstgriff derart angewandt, daß an den Beobachtungsstellen die Temperatur des Probekörpers zur besseren Einstellung der Marken etwas gesenkt wurde (maximal um 8%). — Weiterhin soll hier bemerkt werden, daß mit Rücksicht auf das außen mit Widerstandsdraht bewickelte Heizrohr des Ofens die Temperatur im Rohrinnern für statische Versuche nicht über 1350° C gesteigert werden sollte.

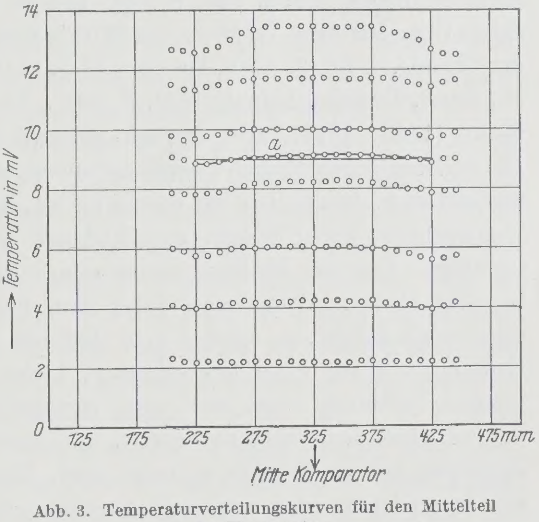


Abb. 3. Temperaturverteilungskurven für den Mittelteil des Komparators.

In Abb. 3 ist eine Reihe von Temperaturverteilungskurven des Mittelteils des Komparators für einige Versuche wiedergegeben; man erkennt die gleichförmige Temperaturverteilung über die Meßlänge von 200 mm bei verschiedenen Temperaturen. Zur Bestimmung der mittleren Temperatur des Probekörpers wird die aufgenommene Temperaturverteilungskurve integriert — etwa durch Ausschneiden der auf Millimeterpapier gezeichneten Kurve und Bestimmung des Gewichtes auf der Analysenwaage oder durch mehrfaches Umfahren der Kurve mit dem Planimeter; als Beispiel ist in die Kurve „*a*" der Abb. 3 bei etwa 9 Millivolt (etwa 950° C) die Mitteltemperatur eingezeichnet.

## 4. Schlußbemerkung.

Es hat sich gezeigt, daß mit dem neuen Komparator und dem neuen Ofen sehr genaue Messungen des Ausdehnungsverhaltens fester Körper bis zu 1350 — maximal

1400° C — möglich sind. Mit dem Komparator ist eine Reihe von Untersuchungen durchgeführt worden, über welche an anderen Stellen berichtet werden wird.

Die Untersuchungen wurden mit Unterstützung der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft ausgeführt, welche auch die Mittel für die Apparatur bewilligte; für Überlassung der Arbeitsräume im Kaiser-Wilhelm-Institut für Silikatforschung und viele Anregungen bin ich Herrn Professor Dr. W. Eitel und Herrn Professor Dr. F. Weidert sehr dankbar.

Kaiser-Wilhelm-Institut für Silikatforschung,
Berlin-Dahlem, September 1929.

---

# Joseph Blacks „Mikrowaage“ mit Reiterversatz.

Von
Dr. **Max Speter** in Berlin.

Man war bisher der Ansicht, daß der in der wissenschaftlichen und praktischen Chemie förmlich als Gegenstand des täglichen Gebrauches anzusehende „Reiter“ auf den Analysenwaagebalken, dem schwedischen Altmeister der Chemie, Jöns Jacob Berzelius zu verdanken ist[1]. Merkwürdigerweise ist es aber bisher völlig übersehen worden, daß Berzelius selbst gar nicht die Ehre als Erfinder des „Reiters“ beansprucht hat, sondern stets Gahn in diesem Belange anführt, so schon 1818 in seinem „*Lärbok i Kemien*“ (Stockholm, 3. Teil, S. 388) und in allen späteren Auflagen seiner Werke oder deren Übersetzungen (z. B. in der Wöhlerschen Übersetzung von Berzelius, Lehrbuch der Chemie, 4. Bd. 2. Abth. Dresden 1831, S. 1062 bzw. in der 4. Aufl. dieser Übersetzung 10. Band, Dresden-Leipzig 1841, S. 538). Der damalige „Assessor“ Johann Gottlieb Gahn (1745—1818) hatte eine sehr einfache Konstruktion des Waagebalkens angegeben. Die meisten schwedischen Chemiker hatten nach Gahns Prinzipien angefertigte Waagen im Gebrauch. Berzelius bat darum Gahn, ihm für sein Lehrbuch Bemerkungen über die Konstruktion seiner Waage zum Abdruck liefern zu wollen, welchem Wunsche Gahn nachkam. Und am Schlusse dieses seines Beitrages zu Berzelius' Lehrbuch (a. a. O.) bemerkt Gahn: „Wenn man jeden Arm der Waage in 10 gleiche Theile einteilt und diese noch halbirt, so erlangt man dadurch die Bequemlichkeit, dass nach dieser Eintheilung, wie auf einer Schnellwaage, kleine Gewichte auf die Arme gehängt werden können, wodurch man, mit weit geringerem Zeitverlust, fast genau das Gewicht der zu wägenden Substanz erfährt, und dadurch weiss, welche Gewichte zur völligen Justirung auf die Schaale zu legen sind. Diese beweglichen Gewichte macht man sich aus vergoldetem oder unvergoldetem Silberdrath von verschiedener Dicke und biegt sie ungefähr wie ein ∩. Sie sind leicht abzumessen und zu justiren, wenn man sich ein grösseres Stück Drath abgewogen hat.“ Berzelius beschreibt, wenige Abschnitte darauf (a. a. O.), seinen „Reiter“ mit den Worten: „Zur Bestimmung von Milligrammen und Brüchen davon, nehme ich als kleinstes Gewicht 5 Milligramm, und einen 5 Milligramm schweren Drath zum Aufhängen auf den in 10 Theile eingetheilten Arm.“ Weder Gahn

---

[1] Das meint z. B. 1869 Gustav Karsten in seinem Beitrag über „Maaß und Messen“ in der (übrigens heute noch sehr lesenswerten) „Einleitung in die Physik“ (die als Band I der von Karsten herausgegebenen „Allgemeinen Enzyclopädie der Physik“ zu Leipzig 1869 erschienen ist) auf Seite 583 bzw. 593, unter Zitierung von „Berzelius, Chemie IV, 2. Abt., mit den Worten: „Anwendung der Reiterchen für die kleinsten Gewichte“, oder 1926 das Fehling, Hell und Häussermannsche „Neue Handwörterbuch der Chemie“ (Bd. IX, S. 691) bei Erwähnung der Reitergewichte: „Zuerst angeführt bei J. Berzelius, Lehrbuch der Chemie, Bd. 4, 2. Abth. S. 1062, Dresden 1831“.

och Berzelius hatten aber eine Reiter-Verschiebungsvorrichtung! Ihre „Reiter" ver-
ɛtzten sie auf dem Waagebalken einfach mit der Hand, wahrscheinlich unter Benutzung
iner Greif-Pinzette. In der Folge mußte sich das Bedürfnis für eine solche mechanische
ᒪeiterverschiebung geltend gemacht haben; denn 1860 bemerkt ein Mechaniker Lands-
erg in Hannover, bei seiner „Beschreibung einer Reiterverschiebung für chemische
Vaagen" (*Polytechn. Centralblatt*, Leipzig, 1860, Spalte 456—458 und Abb. auf Tafel 12):
Bei fast allen feineren Waagvorrichtungen hat man mechanische Hülfsmittel angebracht,
m das Reiterchen auf dem arretirten Waagebalken verschieben zu können, ohne den
Vaagekasten zu öffnen und dabei die Waage Luftströmungen auszusetzen." Eine
olche Waage mit Reiterverschiebung ist 1857 als „Berlin Balance" abgebildet und
eschrieben, in Campbell and Clarence Morfits Handbuch der Laboratoriumspraxis
*Chemical and Pharmaceutical Manipulations: A Manuel of the Mechanical and Chemico-
Iechanical Operations of the Laboratory. Second and enlarged Edition. With 537 Ill.*
Philadelphia 1857, Seite 111. Fig. 75). Ob die erste, 1849 erschienene Auflage dieses
Verkes bereits eine solche Waage berücksichtigt, konnte ich, da mir diese Edition
icht erreichbar war, nicht feststellen.

War bisher unbeachtet geblieben, daß nicht Berzelius, sondern Gahn öffentlich
uerst mit einem „Reiter"-Prinzip hervortrat, so ist es bislang ebensowenig beachtet
vorden, daß vor diesem bereits Joseph Black, der „Vater der pneumatischen Chemie,"
on diesem Dezimalwaagenprinzip mit Reiterversatz, Gebrauch gemacht hat, wie dies
us einem von ihm im September 1790 an einen Joseph Louis Macey, Orchard Street
n London gerichteten Brief hervorgeht, der in William Ramsays posthumer Black-
Biographie[1], ohne irgendwelche Betrachtungen prioritärer Art über diesen Punkt
llerdings, zum ersten Male veröffentlicht wurde und der bei der Schwerzugänglichkeit
esagter Publikation darum hier ungekürzt wiedergegeben werden möge: „*The beam*",
chreibt Black, „*is a small piece of fire wood of the thickness of a shilling, and a foot
ong, 3—10ths* (NB. $= {}^3/_{10}$!) *of an inch broad in the middle and* $1^1/_2$*—10ths inch at
ach end, divided into 20 parts, 10 on each side of the middle, each division itself divided
nto halfs and quarters. Across the middle is fixed by sealing-wax one of the finest needles
rocurable. The fulcrum is a bit of plate brass, which lies on the table; the two ends are
ent up to a right-angle so as to stand upright; these two ends are ground at the same
ime on a hone, so that the extreme surface of them may be on the same plane. They
ise above the table only* $1^1/_2$*—10ths of an inch, so that the balance is very limited in
ts play. The weights are 1 globule of Gold, which weighs 1 grain, and 2 or 3 others
which weigh 1—10th of a grain each, and also a number of rings of fine brass wire;
hose I use happen to be 1—30th part of a grain each, but I have others much lighter.
You will perceive that by means of the weight placed at different parts of the beam I can
earn the weight of any little mass, from 1 grain or a little more to the 1—1200th of
a grain. Had I occasion to use a more delicate on, it would be easy to make it, by tak-
ng a much thinner and lighter slip of wood, and grinding the needle to give it an edge*"[2].

[1] *The Life and Letters of Joseph Black M. D. By* Sir William Ramsay K. C. B., F. R. S.
*With an Introduction dealing with the Life and Work of Sir William Ramsay by* F. G. Donnan,
F. R. S. London 1918. S. 130. (Dieses Werk ist völlig vergriffen!) Der Brief hat die Inhaltsangabe:
„*Description of my small beam*" . . . „*for weighing very small masses such as the globules of metals
produced by essays with the blowpipe*".

[2] In der Zwischenzeit bis zur Satzlegung konnte in *The Annals of Philosophy (New Series,
Vol. X, London 1825, S. 52—54.)* ein »*Letter from Dr. Black to James Smithson Esq., describing a very
sensible Balance,*« datiert „Edinburgh, Sept. 18, 1790," ausfindig gemacht werden, der fast wörtliche

Da 1 grain etwa 0,0648 g ausmachte, so würde der 1200. Teil davon eine auch dur unsere heutigen Analysenwaagen nicht leicht überbietbare Genauigkeit der Wägu bedeuten! Ob aber Black mit dieser oder einer ähnlichen Waage seine klassisc Untersuchung über die „fixe Luft“ anfangs der 50er Jahre des 18. Jahrhunderts od sonstige klassische Arbeiten ausgeführt hat, wie Ramsay meint (*„It is probable th much of Blacks classic work was performed with such a home-made balance“*), blei dahingestellt. Sicher aber ist es, daß J. Black, um 1790 oder vielleicht vorher sch „Reiter“ auf dem dezimalisierten Balken einer Art „Mikro“-Waage, zum Feinwäg benutzt hat, allerdings ohne damit vor die breitere Öffentlichkeit zu treten, so d das Verdienst dieser „Reiter“-Erfindung zum größten Teile dem 1818 (unabhängig wo von Black) damit hervortretenden J. G. Gahn, nicht aber mehr Berzelius, zuz sprechen ist.

---

# Ein neuer Mikroprojektionsapparat für Unterricht, Verein und Hau

Von

**J. Preuß** in Berlin.

Die Mikroprojektion erfreut sich in den letzten Jahren für Unterrichtszwec einer steigenden Beliebtheit, weil sie gestattet, die mikroskopischen Präparate gleic zeitig einer großen Zuschauerzahl zu demonstrieren, wodurch sich ein außerordentli großer Zeitgewinn ergibt. Es sind, den vielfachen Bedürfniss entsprechend, von verschiedener Seite Mikroprojektionsgeräte f die verschiedensten Zwecke konstruiert worden, u. a. auch d „Mikrolyt“ der um die Entwicklung der Mikroprojektion beso ders verdienten Firma Ed. Liesegang in Düsseldorf. Dies kleine Apparat, der sich seinerzeit recht gut bewährte, ist nu kürzlich in neuer, bedeutend verbesserter Ausführung auf de Markt gekommen.

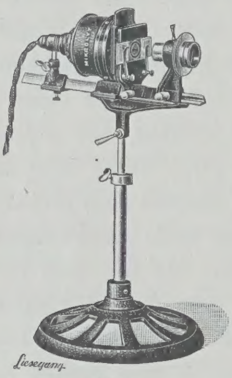


Abb. 1.

Die Absicht, die zu seiner Konstruktion geführt hat, wa ein kleines, billiges, stets gebrauchsfertiges und an jede Lich leitung anschließbares Mikroprojektionsgerät zu schaffen, das b einfacher und gefahrloser Handhabung doch große Leistunge zeigen sollte. Mit dem „Mikrolyt“, den Abb. 1 in seiner neue

---

Übereinstimmung mit dem hier oben abgedruckten aufweist. Dort ist dazu noch eine schematisc Zeichnung der Blackschen Waage skizziert und eine Zusatz-»*Note by M. Smithson*« abgedruck Eine freie deutsche Übersetzung daraus — ohne Quellenzitat — brachte 1832 Friedr. Bamberge in seiner „Beschreibung und Abbildung der in neuerer Zeit erfundenen und verbesserten Maschine zum Waegen sowie kleinerer, sehr empfindlicher Wagen“ (Quedlinburg und Leipzig, 1832, S. 55—5 ohne die schematische Skizze). Auch der holländische Chemiker, G. J. Mulder, beschreibt un skizziert in seiner „Scheikundige Werktuigkunde“ (Rotterdam, Bd. I, 1834, S. 20 und Skizze a Tafel III, Fig. 1) diese Blacksche Waage. Es ist aber nirgends ersichtlich, in welcher Weise d Gleichgewicht von Last und Gewicht auf dieser seiner Waage von Black beobachtet werden konnt — Die als „Blacks Waage“ auf der Intern. Ausstellung wissenschaftlicher Apparate im Sout Kensington-Museum in London 1876 ausgestellte, in dem Schottischen Museum zu Edinburgh b findliche Waage (vgl. Rud. Biedermanns deutschen „Bericht“ über diese Ausstellung, London 187 S. 561, Nr. 3353) ist, — lt. dankenswerter Auskunft der Edinburgher Museumsleitung — lediglic *„a very ordinary chemical balance suitable for weighing about a kilo“*, also nicht die oben betrachtet „Mikrowaage“ Blacks!

usführung zeigt, lassen sich äußerst scharfe Bilder von großer Helligkeit bis zu einem )urchmesser von 3 m herstellen. Die Vergrößerungen können bei Anwendung geeigneter )bjektive bis zu etwa 1000 facher Schirmvergröße-ung gesteigert werden. Es sind dies Leistungen, die ür Unterricht und Haus als allen Anforderungen enügend zu bezeichnen sind.

In Abb. 2 ist ein Querschnitt durch den Mi-rolyt mit allen näheren Angaben dargestellt. Ob-ektivträger, Präparatenbühne und Lampe können inzeln auf dem Dreikantstab, der als optische Bank lient, gegeneinander verschoben und mittels Schrau-en festgeklemmt werden. Es sind also die Abstände wischen Lampe, Kondensor, Präparat und Objektiv equem veränderlich, wobei die Zentrierung der ein-elnen Teile vollkommen erhalten bleibt. Diese eichte Beweglichkeit der einzelnen Teile bei Er-altung der Zentrierung gestattet es, die Beleuch-ung und damit die Leistung auf ein Maximum zu ringen.

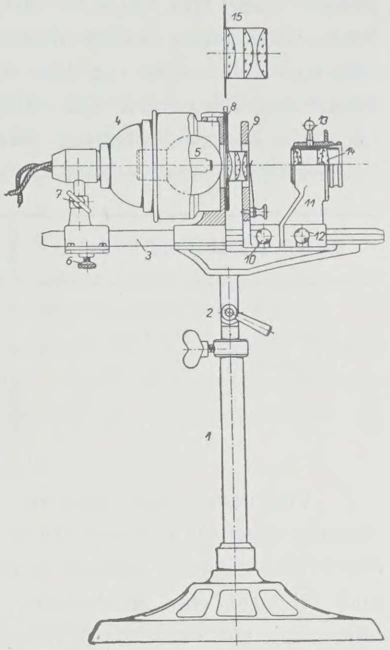


Abb. 2.

1 = Stativ,
2 = Feststellbares Gelenk zum Neigen des Apparates,
3 = Dreikantstab,
4 = Lampenhaus,
5 = Glühlampe,
6 = Reiterfuß mit Einstellschraube für das Lampenhaus,
7 = Stellschraube zum Fixieren der Höhen- und Seiteneinstellung der Lampe,
8 = 3 facher Kondensor mit Schlittenführung,
9 = Verschiebbare Präparatenbühne,
10 = Feststellschraube,
11 = Verschiebbarer Objektivträger,
12 = Feststellschraube,
13 = Schneckentrieb zum Scharfeinstellen des Objektives,
14 = Objektiv in Zylinderfassung,
15 = Auswechselbarer größerer Kondensor.

Als Lichtquelle dient eine 25-Watt-Nieder-oltlampe für 6 V Spannung mit einem genau zen-rierten Glühfaden. Zum Anschluß an das Lichtnetz edient man sich bei Wechselstrom vorteilhaft eines ransformators, der die Netzspannung auf 6 V bringt, während bei Gleichstromanschluß ein Widerstand um Herabsetzen der Spannung verwendet werden nuß. Es ist empfehlenswert, Transformator bzw. Wi-lerstand mit einem sogenannten Hellschalter aus-tatten zu lassen. Dieser erlaubt es, die Lampe zeit-veise durch eine geringe Überlastung heller brennen u lassen, wenn es darauf ankommt, dunkle Stellen m Präparat besser zur Darstellung zu bringen. Da-lurch, daß die Überspannung nur so lange anhält, vie der Hellschalter niedergedrückt wird, wird eine Beschädigung der Lampe durch dauerndes Brennen in iberlastetem Zustand vermieden.

Der vor der Lichtquelle angebrachte Kondensor besitzt einen Durchmesser von 18 mm und sitzt in einer enkrechten Schlittenführung, aus der er mit einem Hand-griff herausgenommen werden kann. Wenn bei Übersichts-präparaten ein großes Gesichtsfeld erforderlich ist, kann er gegen einen Kondensor von 33 mm Durchmesser ausge-auscht werden.

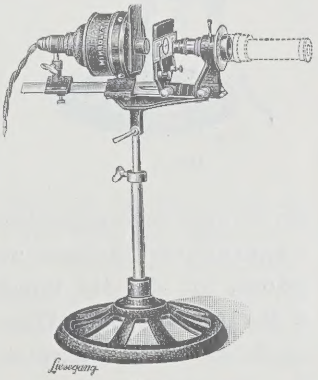


Abb. 3.

Der Mikrolyt wird je nach Wunsch mit einem von wei Objektiven geliefert, die eine Brennweite von 40 mm haben und vorzüglich korrigiert sind. Entweder wird er mit einem Myonast ausgestattet, oder es kann ein Myotyp, ein Anastigmat von aus-gezeichneter Schärfe, zur Verwendung gelangen. Außer diesen beiden Objektiven können

zur Erzielung höherer Vergrößerungen auch Mikroskopobjektive bis zu einer Brennwei von 5 mm verwendet werden, wobei natürlich der Schirmbilddurchmesser dementspreche kleiner wird. Das Objektiv hat eine Steckfassung, so daß es mit einem Griff oh Schrauberei gegen andere Objektive ausgetauscht werden kann. Diese besitzen gleic falls eine Zylinderfassung oder können mit einem Ansatzrohr ausgestattet werden. D Scharfeinstellung wird mit Hilfe eines Hebels durch Schneckentrieb bewirkt. A folgender Zusammenstellung sind die bei verschiedenen Apparatabständen und unt Zuhilfenahme verschiedener Objektive erreichbaren Vergrößerungen zu ersehen.

| Apparatabstand in m | Brennweite mm | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Vergrößerung mit Myonast und Myotyp . . . . | 40 | 25 | 50 | 75 | 100 | 125 | 150 fach |
| „ Objektiv Nr. 2 . . . . . . . | 25 | 40 | 80 | 120 | 160 | 200 | 240 „ |
| „ „ „ 3 . . . . . . . | 15 | 70 | 140 | 210 | 280 | 350 | 420 „ |
| „ „ „ 4a . . . . . . . | 10 | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 „ |
| „ „ „ 5 . . . . . . . | 5 | 170 | 340 | 510 | 680 | 850 | 1000 „ |

Verwendet man stärkere Objektive, wie z. B. Nr. 3, 4a oder 5, so ist das Au stecken eines Okularansatzes mit einem Huygensschen Okular zu empfehlen, w durch eine scharfe Umrandung des Bildes erzielt wird. Bringt man zwischen Kondens und Präparat eine Mattscheibe, so kann man den Mikrolyt auch ohne weiteres a Mikroskop zur subjektiven Betrachtung des Präparates benutzen, wie das Abb. 3 zeig

Das Stativ ist mit einem verstellbaren Gelenk zum Neigen des Apparates versehen. Dadurch erhöhen sich

Abb. 4.

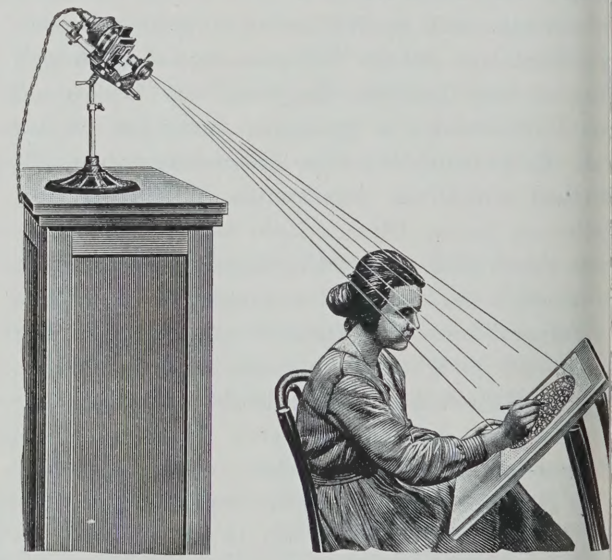


Abb. 5.

die Anwendungsmöglichkeiten des Mikrolyts ganz bedeutend. Man kann ihn einmal i wagerechter Stellung zur Projektion von Trockenpräparaten benutzen. Will ma jedoch, wie das im Biologieunterricht oft erforderlich ist, kleine lebende Tiere, wi z. B. Insekten oder Wassertiere, projizieren, so klappt man den Apparat um 90 nach unten und klemmt ihn mit einer Feststellschraube fest, wie das Abb. 4 zeigt Zur Projektion muß dann ein versilberter Spiegel auf das Objektiv gesetzt werden

Sehr geeignet ist der Mikrolyt zur Verwendung als Zeicheneinrichtung. Ma neigt ihn zu diesem Zweck etwas nach unten (Abb. 5) und stellt ihn erhöht auf

orauf man das Bild auf einer senkrecht zur Strahlenrichtung stehenden, mit Zeichenapier bespannten Holzplatte auffangen und dort bequem nachzeichnen kann. Noch raktischer kann man den Mikrolyt mit Hilfe eines Spezialstativs zum Zeichnen erwenden. Aber nicht nur Zeichnungen, sondern auch mikrophotographische Aufahmen lassen sich mit seiner Hilfe vorzüglich herstellen. Man hat nur nötig, as Zeichenpapier durch eine photographische Platte oder einen Film zu ersetzen und, vtl. unter Einschaltung geeigneter Filter, in der Dunkelkammer entsprechend zu bechten. Die mittels dieser Methode erzielten Mikrophotos sind von erstklassiger Schärfe nd Deutlichkeit.

Die mechanische und optische Ausführung ist sehr stabil und exakt, in eder Hinsicht Präzisionsarbeit, so daß das Instrument auch Laien ohne weiteres in ie Hand gegeben werden kann. Es eignet sich besonders für kleinere Schulen mit eringen Mitteln, die sich die Anschaffung eines Mikroskops nicht erlauben können, owie für den Liebhabermikroskopiker, daneben wird es aber auch an größeren Antalten und Universitätsinstituten bei sehr vielen Gelegenheiten ein vorhandenes Mikroskop vorteilhaft ergänzen können.

## Berichte.

### Ein neues Pendel mit unveränderlicher Schwingungszeit.

*Von* M. Schuler, *Zeitschr. f. techn. Physik* **10.** *S. 392—395. 1929.*

Der vorliegende Aufsatz behandelt ein außerordentlich wichtiges Problem. Soweit die biserigen Beobachtungen an dem „Ausgleichspendel“ ergeben haben, ist dieses neue Pendel jedem isher bekannten hinsichtlich der Leistungen überlegen, so daß Uhren, die mit diesem Pendel ausrüstet sind, eine bisher für unmöglich gehaltene Gleichmäßigkeit des Ganges einhalten müssen. amit eröffnen sich der Forschung hinsichtlich verschiedener Probleme, die bisher in Ermangelung enügend genauer Uhren aussichtslos erschienen, neue Möglichkeiten. Da die bisher besten astroomischen Uhren nur auf maximal sechs Dezimalen genau sind, reichen sie nicht aus, etwaige chwankungen der bisher als Grundlage der Zeitmessung angenommenen Drehgeschwindigkeit der rde durch Beobachtung festzustellen. Auf solche Ungleichmäßigkeiten ı der Drehung der Erde muß aber aus gewissen astronomischen Vahrnehmungen: den Polschwankungen und kleinen Differenzen wischen Beobachtung und Rechnung an Mondbahn und Planetenahnen geschlossen werden. Der Nachweis ungleichmäßiger Drehschwindigkeit der Erde erfordert eine Uhr, deren Genauigkeit zehnıal größer ist, als die der besten bisher bekannten astronomischen hr. Eine Uhr dieser Genauigkeit bildet auch ein geeignetes Meßerät für langperiodische Schwereschwankungen, die sich bisher aus langel an geeigneten Meßgeräten der Erfassung vollständig entzogen.

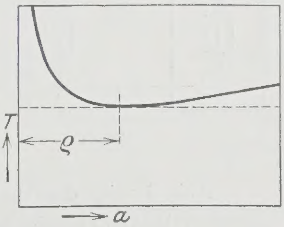


Abb. 1.

Der Verfasser geht von der Erwägung aus, daß die dünne Feder, an der das Pendel allemein aufgehängt zu werden pflegt, da sie dauernd hin- und hergebogen wird, ihre Länge nicht eibehält. Daß eine mit einem Pendel unkontrollierbar sich ändernder Pendellänge ausgerüstete hr nicht genau gehen kann, ist die Folge. Er sucht daher die Lösung der Frage, ob sich ein endel bauen läßt, dessen Schwingungsdauer von der Pendellänge unabhängig ist. Das würde le Fehler, die durch Dehnung der Pendelaufhängefedern und der Abnutzung der Aufhängehneiden bedingt werden, restlos beseitigen.

Aus der in Abb. 1 abgebildeten Kurve, die die Abhängigkeit der Schwingungszeit $T$ des endels vom Abstande $a$ des Aufhängepunktes vom Schwerpunkt darstellt, ist zu ersehen, daß

eine minimale Schwingungszeit vorhanden ist, die sich in erster Annäherung nicht ändert, we man $a$ ändert. Eine einfache Rechnung ergibt die Beziehungen:

$$\varrho = a; \quad l = 2\varrho; \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{2\varrho}{g}},$$

wo $l$ = reduzierte Pendellänge bedeutet und die übrigen Größen den bekannten Sinn haben. A diesen Beziehungen folgt, daß an der Pendelstange zwei Gewichte so anzubringen sind, daß d Trägheitsradius, gemessen um den Schwerpunkt, der Hälfte der geforderten Pendellänge gleich i d. h. nahezu 500 mm bei dem Sekundenpendel und das Pendel im Abstand $\varrho$ vom Schwerpun aufzuhängen ist.

Ein vom Verfasser gebautes Versuchsmodell bestätigte die Richtigkeit der erwähnten Schlüs Das „Ausgleichspendel" ergab bei einer Verschiebung des Pendels um 1 mm einen Fehl $T = 0{,}02$ sec/Tag, ein in der Normallänge zum Ausgleichspendel synchron abgestimmtes Uhrpend einen Fehler: $T = 43$ sec/Tag. Demnach hängt bei dem Ausgleichspendel praktisch die Schwingung dauer nur vom Abstande beider Gewichte — d. h. von $\varrho$ — ab.

Aus Abb. 2 wird schematisch die Ausführung und die Aufhängung ersichtlich. Das Pend mit samt der Gewichte ist aus einem Stück Invar herausgedreht und mit zwei Schneiden, die der Pendelstange befestigt sind, aufgehängt. Die Schneidenachse hat von dem Schwerpunkt ein Abstand, der dem Trägheitsradius gleich ist. Wie sich aus dem Bau des Pendels ergibt, ist sei Schwingungszeit eine bestimmte, nicht regulierbare. Zum Schutz gegen äußere Störungen wi das Pendel gasdicht eingeschlossen und das Innere des Gehäuses auf einem bestimmten Dru gehalten. Die Temperaturfehler werden durch Rechnung ermittelt, wozu die Temperatur fo laufend gemessen wird. Da das Pendel mit einem Räderwerk mechanisch nicht in Verbindu steht, wird sein Gang von Uhrwerksfehlern nicht beeinflu Eine besondere Arbeitsuhr, die in der üblichen photoelektrisch Weise durch das Ausgleichspendel synchron gehalten wird u außerdem den Strom für den elektromagnetischen Antrieb d Hauptpendels schaltet, dient als Zeitzählwerk. Am Ausgleic pendel selbst ist ein mechanischer Kontakt nicht vorhande Der elektromagnetische Antrieb erfordert im Pendelgehäuse zw Organe. Am oberen Ende des Pendels ist ein permanenter H eisenmagnet befestigt, dessen Ebene auf der Schwingungsebe senkrecht steht, dessen Pole an den sich kreuzenden Dräht einer in 8-Form gewickelten, am Gehäuse befestigten Spule v überstreichen. Wie erwähnt, wird der Strom in der Spule dur die synchron gehaltene Arbeitsuhr geschaltet. Mit Hilfe ein Spiegels, dessen Anordnung aus der Abb. 2 hervor- geht, wird d Schwingungsweite, der sogenannte Schwingungsbogen, fortlaufe registriert, der Einfluß ihrer Schwankungen wird durch Rec nung beseitigt.

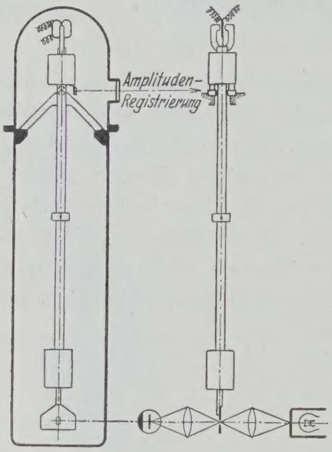


Abb. 2.

Abb. 3 zeigt den Verlauf des Ausschwingens bei dem Ausgleichspendel im Vergleich zu eine normalen Rieflerpendel bei gleichzeitig abgestelltem Antrieb. Aus dieser Darstellung geht herv wie außerordentlich gering der Einfluß der Reibung bei dem Ausgleichspendel bleibt und um wi viel stärker die Reibung das Rieflerpendel beeinflußt. Zum Antrieb des Ausgleichspendels reic dementsprechend ein ganz geringer Energiebetrag aus, der mit 6 Erg. angegeben wird. Wesentli niedrig gehalten wird die Reibung dadurch, daß das Pendelgehäuse mit Wasserstoff gefüllt is dessen Reibung nur $^1/_{14}$ der der Luft beträgt. Entsprechend der geringen Antriebsenergie, d erforderlich ist, bleiben auch die Antriebsfehler sehr klein. Gegen Energieverluste durch Schwi gungsübertragung auf das Pendelfundament wurden besondere Vorkehrungen getroffen. Die Lu bzw. im vorliegenden Falle Gasreibung, zu deren Überwindung etwa 2,8 Erg. erforderlich sin kann durch Druckverminderung im Gehäuse noch verringert werden. Damit aber der zur Messu der Pendeltemperatur erforderliche Wärmeübergang zwischen Pendel und Gehäuse sichergestel bleibt, ist der Druckverminderung eine Grenze gesetzt.

Die mechanische und photoelektrische Funktion des Ausgleichspendels haben bisher restlos efriedigt und den Erwartungen entsprochen. Bei Aufhängung des Pendels im Vakuum konnte rreicht werden, daß die Schwingungsweite erst in 18 Stunden auf die Hälfte abfiel; d. h. das 'endel benötigt nur $^1/_{10}$ der Antriebsenergie der besten bis-erigen Pendel, woraus der Verfasser schließt, daß auch er Antriebsfehler auf $^1/_{10}$ der bei den besten bisherigen 'endeln auftretenden heruntergehen wird.

Zur Ermittelung der Zeitfehler, über die naturgemäß rst nach längeren Beobachtungsreihen Angaben gemacht verden können, ist das Ausgleichspendel auf der Sternwarte ı Göttingen aufgestellt worden. Ohne Rücksicht auf die u erwartenden Ergebnisse kann aber jetzt schon gesagt verden, daß das Ausgleichspendel einen bedeutenden Fort-chritt für die Zeitmessung bedeutet.

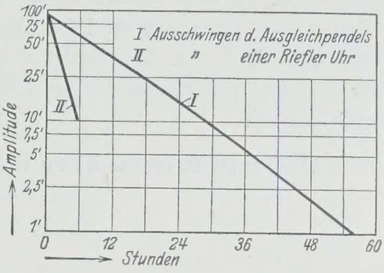


Abb. 3.

Eine kurze Diskussion der bekanntgewordenen Gänge der Shortt-Uhren, der derzeitig esten Uhren Europas, am Schluß der Arbeit führt überzeugend den Beweis, daß tatsächlich die rößten Fehler der jetzigen astronomischen Uhren durch Längenänderungen des Pendels erzeugt verden.

*W. Keil.*

## Über Eigenschaften einer Stimmgabel aus geschmolzenem Quarz.

(*Some properties of a fused silica tuning-fork*).

*Von* E. A. Harrington. *Journ. Opt. soc. Am.* **18.** *S. 89—95. 1929.*

Der Verfasser untersuchte eine unter Leitung von E. Thomson bei der General Electric 'omp. angefertigte Stimmgabel aus geschmolzenen Quarz. Die Gabel deren Zinken etwa 10 cm ang waren und 2 cm von einander abstanden, wurde wie folgt hergestellt. Zunächst wurde ein )uarzstab von ca. 4 mm Durchmesser in Haarnadelform gebogen und dann der Stiel, ein 4 cm anges Stück von demselben Durchmesser, an die Biegung angeschmolzen. Für die Messungen vurde die Gabel horizontal aufgestellt, indem der Stiel zwischen zwei geeignet geformte Stücke veichen Holzes eingeklemmt wurde. Am Ende der einen Zinke wurde ein leichter Spiegel — Größe qmm — angeklebt, am Ende der anderen zur Herstellung dynamischen Gleichgewichts die dem piegelgewicht entsprechende Wachsmenge. Ein schmales Lichtbündel, das eine Bogenlampe er-eugt, fällt auf den Spiegel, der es auf einen auf einer Trommel aufgewickelten Film wirft. Die chtdicht eingekapselte Trommel hat einen Umfang von 1 m und steht 2 m von der Gabel ent-ernt. Durch Betätigen eines Druckknopfschalters kann ein an geeigneter Stelle der Trommelkapsel ngebrachtes Fenster (Verschlußklappe) geöffnet und beliebig lange offen gehalten werden. Die Rotationsgeschwindigkeit der Trommel ist so bemessen, daß der Vorschub für 100 vollständige chwingungen der Gabel 10 cm beträgt.

Der Gang der Beobachtungen ist folgender: Zunächst wird die elektrisch angetriebene Film-rommel in Gang gesetzt, dann erst wird die Gabel durch einen leichten Schlag eines Klavier-ammers angeregt. Es zeigt sich, daß die Oberschwingungen und die erzwungenen bereits nach Sek. nicht mehr stören; nach dieser Zeit wird der Verschluß für 3 Sek. geöffnet und die Schwin-ungen der Gabel werden aufgezeichnet. Der Dämpfungseffekt wurde dadurch bestimmt, daß die mplitude jeder 50. Schwingung auf dem Diagramm gemessen wurde. Eine Tabelle bringt ie Schwingungszahl, die entsprechende Amplitude in cm und dem natürlichem Logarithmus der mplitudenwerte zur Darstellung. In kurzen theoretischen Ausführungen teilt der Verf. die 'ormeln mit, die er zur Auswertung seiner Beobachtungen benötigte.

Mit Hilfe eines Monochords wurde die Frequenz zu 274 und damit die Schwingungsdauer u $2{,}29 \times 10^{-2}$ gefunden, Das logarithmische Dekrement ergibt sich aus den in der Tabelle mit-eteilten Werten zu $3{,}6 \times 10^{-4}$. Der Dämpfungskoeffizient errechnet sich dann zu $3{,}14 \times 10^{-2}$ und ler der Steifigkeit zu $7{,}53 \times 10^4$.

Die Vorteile einer Stimmgabel aus Quarz sind folgende: Ihre Elastizität ist hoch und ändert ich nicht mit der Zeit, der Einfluß der Temperatur auf ihre Elastizität ist sehr klein, ebenso ist ler Dämpfungskoeffizient und auch die Längsausdehnung sehr klein und a. m.

Alle diese Vorteile stempeln Quarzglas zu einem idealen Stimmgabelmaterial. Jedoch si auch gewisse Nachteile nicht zu übersehen. Die Bruchgefahr von Quarzglas ist außerordentli groß. Ein weiterer Nachteil ist der, daß Quarzglasstimmgabeln ohne besondere metallische E richtungen, die ihre Vorzüge stark beeinträchtigen, nicht elektrisch betrieben werden können. S kommt auch als Klangmoral für die Praxis nicht in Betracht, weil die Schallenergie, die sie au sendet, zu klein ist. Zu beachten ist auch, daß eine vollständige Kompensation des Einfluss der linearen Wärmeausdehnung und des der Temperatur auf die Elastizität bei Quarz nic erreicht wird. *W. Keil.*

## Untersuchungen über die Abhängigkeit der Meßgenauigkeit von der künstlichen Beleuchtung.

*Von* B. Reiter, *Diss. Dresden.* Berlin 1929.

Das Ziel der Untersuchungen ist die Klärung von Fragen, die in erster Linie für die Pra im Industrie-Meßlaboratorium von Wichtigkeit sind. Unter verschiedenen Beleuchtungsbedingung hat der Verf. an einem selbst entworfenen einfachen Vergleichsapparat an Strichteilungen Noni einstellungen beobachtet. Die untersuchten Teilungen waren teils schwarz ausgelegte Meta teilungen — fünf verschiedene Metalle — teils Papierteilungen mit schwarzem, weißem oder braune Grund und verschiedenfarbiger Teilung. Die Untersuchungen ergaben u. a., daß die beste Me genauigkeit in der Regel indirekte Beleuchtung hoher Beleuchtungsstärke voraussetzt, daß al Teilungen auf Altsilber, Chrom und Messing zweckmäßig direkt beleuchtet werden. Bei halbdirekt Beleuchtung reichen mittlere Beleuchtungsstärken aus. Rein direkte Beleuchtung kommt nur b geringen Lichtstärken in Frage oder wenn nur eine geringe Anzahl von Messungen ausgefüh werden sollen und die Adaptionszeit keine Rolle spielt. Geringe Beleuchtungsstärken sind unzwec mäßig, weil sie längere Beobachtungszeiten erfordern und die Sehleistung des Beobachters beei trächtigen. Eine Reihe der der astronomischen Meßpraxis, die hinsichtlich der Einflüsse physi logisch-optischer Faktoren auf Messungen über die ältesten und besten Erfahrungen verfügt, g läufigen Grundsätze werden durch die Ergebnisse des Verf. bestätigt. Der physiologische Einschl des untersuchten Problems stempelt naturgemäß die Ergebnisse zu bedingten, d. h. solchen vo wiegend qualitativer Natur. *W. Keil.*

## Über eine Methode zur Bestimmung des periodischen Fehlers eines Mechanismus.

*(A method of measuring the periodic error of a mechanism.)*

*Von* G. A. Tomlinson, *Journ. of scient. instr.* ***6.*** *S. 152—153. 1929.*

Zur Ermittlung des periodischen Fehlers eines Paares kinematischer Elemente — z. B. Spind und Spindelschloß, Schneckenrad und Schneckenschraube —, wie sie bei Werkzeugmaschinen benut werden, hat der Verf. ein einfaches Gerät entwickelt, bei dem zwei elektromagnetisch betätig an den Komponenten des Elementenpaares befestigter Schreibhebel gleichzeitig auf einer Rußplat registrieren. Da die Beschreibung nicht ausreicht, die instrumentellen Einzelheiten und die Arbeit weise des Geräts, die an dieser Stelle besonders interessieren würden, vollständig zu übersehe kann sich Ref. auf vorstehende Notiz beschränken. *W. Keil.*

## The Tavistock Theodolite.

*Von* E. R. L. Peake, *The Geograph. Journ.* ***73.*** *S. 513—528. 1929.*

Der Name „Tavistock Theodolite" bezieht sich auf eine bestimmte Gruppe von Theodolite die in ihrer Bauart das Ergebnis einer Zusammenkunft von Vertretern geodätischer Werkstätte und englischer Geodäten in Tavistock im Jahre 1926 sind. Als Vorbild haben die Instrument von Zeiss und Wild gedient. Wenn auch die Anordnung der Klemmen, Mikrometer, Schrauben usw vielfach anders ist, so sind doch die bezeichnenden Eigentümlichkeiten jener modernen kontine talen Instrumente einschließlich ihrer gedrängten Form alle vorhanden. Der Vortrag wurde i Februar 1929 in der *Royal Geographical Society* gehalten. Die anschließende Diskussion gib manche Auskunft der Firmenvertreter wieder und berichtet über praktische Erfahrungen, besonde von militärischer Seite. *J. Arns.*

## Eine Interferenzmethode zur Bestimmung der Aberrationen auf der Achse und in schiefen Bündeln.

*(An interference method for the determination of axial and oblique aberrations.)*

*Von* A. H. Bennett. *Bur. of Stand. Journ. of Research* **2.** *S. 685—702. 1929.*

Der Krater einer Kohlenbogenlampe (Abb. 1) wird durch einen Kondensor auf einer loch- ırmigen Blende $S$ von 0,1 mm Durchmesser abgebildet. In den Strahlengang sind eine Kühlküvette nd ein monochromatisches Wratten-Filter Nr. 73 mit dem Durchlässigkeitsmaximum bei 580 m$\mu$ eschaltet. Die Blende $S$ stellt einen künstlichen Stern dar und ist um etwa 2 mm seitlich der chse des zu untersuchenden Fernrohrobjektivs aufgestellt. Der Spiegel $M$ ist plan und oberflächen- ersilbert, sein Durchmesser muß mindestens so groß sein wie der Durchmesser des Objektivs $L$. ach der Reflexion in dem Spiegel wird das Licht in $S'$ ge- ımmelt. Hinter $S'$ befindet sich bei $G$ ein Kreisgitter, wel- hes vom Zentrum $S'$ aus auf einer photographischen latte $P$ unscharf abgebildet wird. Für die Bestimmung er Aberrationen auf der Achse wird die ganze Anordnung uf einer sehr stabilen optischen Bank aufgebaut, so daß ie punktförmige Lichtquelle $S$ und ihr Bild $S'$ symmetrisch ezüglich der Achse des Objektivs liegen. Für die Mes- ıngen in schiefen Bündeln wird die Lichtquelle $S$ wie oen beschrieben aufgestellt, aber der Spiegel $M$ wird so gedreht, daß das Bild $S'$ in dem ge- ünschten Abstand von der Achse entsteht.

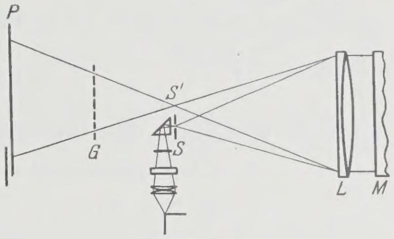



Abb. 1.

Das Kreisgitter besteht aus gleich weit entfernten konzentrischen Kreisstrichen in einem uf Glas chemisch niedergeschlagenen Silberfilm. Die Strichabstände betragen 1,33 mm, die Strich- reiten 0,30 mm. Die Ebenheit der Glasplatte beträgt 0,1 $\lambda$. Die unscharfen Bilder benachbarter itterstriche greifen gerade soweit ineinander, daß Interferenzen entstehen. Ausgemessen wird uf der fertigen Aufnahme die Anzahl der zu einer Gruppe gehörigen Interferenzstreifen und die bstände zwischen benachbarten Streifen. Dann errechnet sich der Abstand $V$ zwischen dem reisgitter und dem Punkt $S'$ nach folgender Formel:

$$V = \frac{12\,F^2\,m^2\,n\,\lambda\,w}{w + 2\,F\,m\,\lambda}\,.$$

Iierin bedeuten $F$ das Verhältnis von Brennweite zu Öffnung der zu untersuchenden Linse, $m$ die nzahl der zentralen Streifen entlang einem Halbmesser, $n$ die Anzahl der Streifen einer Interferenz- ruppe (bei drei gut sichtbaren Streifen ist $n = 5$ zu setzen), $\lambda$ die Wellenlänge und $w$ den Abstand wischen benachbarten Streifen.

Einige Schwierigkeit bereitete zunächst die Herstellung des Kreisgitters. Die endgültige Ierstellungsart ist folgende: Die versilberte Glasscheibe wird horizontal mit der versilberten Fläche ach oben auf einen Spektrometertisch gelegt. Die versilberte Fläche wird senkrecht zu der Dreh- äche des Tisches justiert. Um dieses zu erreichen, wird ein Autokollimationsfernrohr senkrecht ber der Fläche angebracht. Die Justierschrauben auf dem Spektrometertisch werden so lange etätigt, bis das Spiegelbild des Fadenkreuzes im Fernrohr unbeweglich bleibt, wenn der Tisch ıit der Glasscheibe gedreht wird. Dann wird das Fernrohr fortgenommen und eine Mikrometer- chraube, welche mit einem feingespitzten Silberstift versehen ist, in horizontaler Lage über der ersilberten Fläche angebracht. Die exakte Bewegung des Stiftes wird mittels der Mikrometer- ommel bis auf 0,001 mm kontrolliert. Es wird nötig sein, eine vorherige Bestimmung der mit em Stift erzielten Schnittbreite zu machen. Während des Schneidevorgangs wird der Stift mittels er Mikrometerschraube und durch Drehen des Tisches horizontal bewegt, und zwar in den er- ähnten Strichintervallen.

Die beschriebene Objektiv-Prüfungsmethode gestattet, die Aberrationen direkt in Einheiten on Phasendifferenzen zwischen den verschiedenen Stellen der austretenden Wellenfront beim

Durchtritt durch irgend einen Punkt der Achse oder des Hauptstrahles zu bestimmen. Man kan einen solchen Punkt zugrunde legen, welcher einer minimalen Phasendifferenz angehört und d besten Einstellpunkt darstellt.

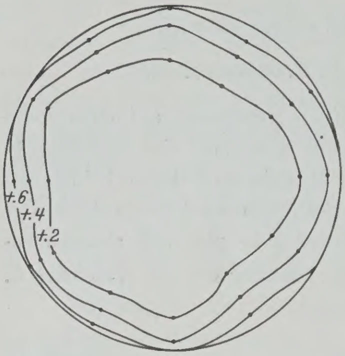


Abb. 2.

Es werden Anwendungsbeispiele der Methode für c Messung der monochromatischen Aberrationen von drei Fer rohrobjektiven gegeben. Dargestellt werden sphärische Abe ration, Koma und Astigmatismus.

Das Verfahren eignet sich zur Bestimmung kleiner Aberrationsbeträge in astronomischen Objektiven. Auch best korrigierten astronomischen Objektiven gibt es no „technische" Aberrationen, die durch mangelnde Homogenit des Glases und durch Bearbeitungsfehler bedingt sind. Die Unregelmäßigkeiten kommen gut zum Ausdruck, wenn man einem Bild der Objektivöffnung (Abb. 2) die Punkte gleich Phasendifferenzen verbindet. *Flügge.*

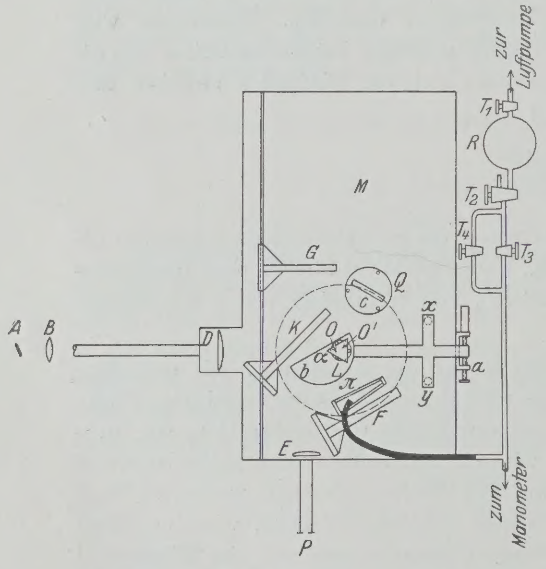
## Eine Anwendung des Interferometers auf die Winkelmessung von Prismen

*(An application of the interferometer to the goniometry of prisms.)*

*Von* D. S. Perfect. *Transact. Opt. Soc.* ***30.*** *S. 118—125. 1928—29.*

Es wird eine Methode beschrieben, mittels welcher Prismenwinkel mit einer Genauigke von 0,1 s gemessen werden können. Die Apparatur besteht aus einem Hilgerschen Interferomet Nr. 1, an welchem einige Abänderungen angebracht sind.

Die Abbildung stellt die Anordnung dar. Eine Quecksilberlampe dient als Lichtquell Zur Erzielung von Monochromasie ist ein Wratten-Filter Nr. 77 vor das Auge bei $P$ geschalte Das Prisma $L$, dessen Winkel $\alpha$ geprüft werden soll, steht auf einem Tisch $b$ so, daß die de




Winkel $\alpha$ gegenüberliegende Prismenfläche ungefäl senkrecht zu dem Spiegel $G$ steht. Der Tisc kann um einen zentralen Punkt $O$ gedreht werde und zwar mittels einer Feinstellvorrichtung bei $F$ ist ein voll versilberter Spiegel, der um eine Punkt $O'$ gedreht werden kann. $Q$ ist ein vo versilberter Spiegel auf einem Tisch $c$ mit N vellierschrauben. $G$ ist ein unbelegter Glasspiege Gegenüber dem Spiegel $F$ ist ein Hohlprisma aufgestellt, über welches nachher noch zu spreche sein wird. Die Spiegel $F$ und $Q$ sind so justier daß sie zu den an den beiden Schenkelflächen de Prismenwinkels $\alpha$ reflektierten Lichtbündeln nah zu senkrecht stehen. Das Prisma $L$ teilt das vo $A$, $B$, $D$ her auffallende Licht in zwei Teile. Dies werden von den Spiegeln $F$ und $Q$ reflektiert un kehren nahezu auf demselben Weg wieder zurück Nach der Reflexion an dem halbversilberten Spie gel $K$ fallen sie mit Teilen des am Spiegel $G$ re flektierten Lichts zusammen und bilden zwei Paare interferierender Lichtbündel. Ein Auge bei sieht die beiden Prismenflächen in symmetrischer Lage im Gesichtsfeld, und zwar jede durch ei System von horizontalen Interferenzstreifen durchzogen. Wenn ein Prisma mit einem von $\alpha$ etwa verschiedenen Winkel an Stelle des Prismas $L$ auf den Tisch aufgesetzt wird, und wenn es mi der Schraube $a$ so justiert wird, daß die dem am Spiegel $Q$ reflektierten Lichtbündel entsprechen den Interferenzstreifen nach wie vor horizontal verlaufen, so sind die Interferenzstreifen der andere Gesichtsfeldhälfte gegen die Horizontalrichtung verdreht. Durch Betätigung der Rotationsvorrichtun des Spiegels $F$ können auch diese Streifen wieder horizontal gerichtet werden.

In Wirklichkeit aber wird so verfahren, daß $F$ in seiner Stellung belassen wird. Aber es ird der Brechungsindex des Prismas $\pi$ geändert, bis die Streifen wieder horizontal sind. Die echungsindexänderung ist ein Maß für die Abweichung des Winkels $\alpha$ vom vorgeschriebenen ert. $\pi$ ist ein Hohlprisma von 15° brechendem Winkel, aus welchem die Luft abgesogen werden ınn. Letzteres geschieht durch eine rotierende Ölpumpe. Der gerade im Prisma vorherrschende ıftdruck kann mit einem Quecksilbermanometer abgelesen werden.

Die Ablenkung eines Lichtstrahls im Hohlprisma bei Annahme der Minimumstellung errechnet ch nach folgender Formel:

$$d = \delta + \frac{2 \operatorname{tg} \frac{A}{2}}{1 + \beta\left(1 + \frac{\Delta p}{760} - \frac{\Delta T}{273}\right)} \beta \left[1 + \frac{\Delta p}{760} - \frac{\Delta T}{273} - \left(1 - \frac{\Delta T}{273}\right) \frac{p_i}{760}\right].$$

ierin sind: $\delta$ die geringe Ablenkung, welche von den Glasplatten des Hohlprismas hineingebracht ird; $A$ der brechende Winkel des Luftprismas; $\beta = \frac{760}{273} \frac{k}{k'}$, $\frac{k}{k'} = \frac{(n_i - 1) T_i}{p_i}$, $n_i$ Brechungsindex er Luft im Prisma, $T_i$ bzw. $p_i$ die abs. Temperatur bzw. Druck der Luft im Prisma $\pi$, $\Delta T$ bzw. $\Delta p$ e Abweichungen von Temperatur und Druck über 273 bzw. 760. Bei Annahme von normaler emperatur und normalem Druck sowie einem Prismenwinkel von 15° 16′ wird

$$d = \delta + 16{,}192''.$$

ine Änderung um 0,1″ in obigem Wert entspricht einer Änderung des brechenden Winkels um 6 Min. Mit dieser Genauigkeit vermag die Apparatur auch zu arbeiten. *Flügge.*

## Die Messung der achsialen Aberrationen von teleskopischen Systemen geringer Vergrößerung.

*(The measurement of axial aberrations of telescopic systems of small magnification.)*

on B. E. Mourashkinsky und M. Savostianoff. *Transact. Opt. Soc.* ***30.*** *S. 49—67. 1928—29.*

Der Zweck der Abhandlung ist es, eine Methode zur Messung der sphärischen und chromatihen Aberration eines teleskopischen Systems von geringer Vergrößerung anzugeben. Die härische Aberration kann numerisch durch den Winkel in Bogenmaß ausgedrückt werden, elchen Strahlen von verschiedener Einfallshöhe hinter dem Okular mit der Achse bilden, oder ırch die Reziproken der Schnittweiten in Dioptrien, gemessen von einer festgelegten Bezugsebene, s welche sich besonders die Austrittspupillenebene eignet. Dieses Dioptriemaß $N$ verhält sich ım Winkelmaß $\zeta$ wie

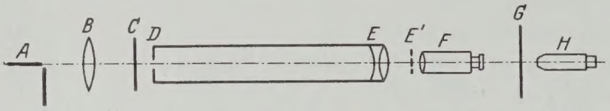
$$\frac{N}{\zeta} = \frac{1000}{h},$$

enn $h$ die Einfallshöhe in Millimetern bedeutet. Die graphische Darstellung der Aberrationskurve folgt in bekannter Weise durch Anlegung eines Koordinatenkreuzes mit den Einfallshöhen als rdinaten und den Aberrationen als Abszissen, und zwar, wie aus den der Originalabhandlung eigegebenen Kurvenbeispielen hervorgeht, die Einfallshöhen in Millimetern in 4-facher Überhöhung, e Aberrationen im Maßstab 0,1 dptr. = 8 mm. Die Verfasser beweisen, daß der Verlauf der härischen Aberrationskurve eines teleskopischen Systems im Dioptriemaß praktisch unabhängig on der Fokussierung des Systems ist. Anders ausgedrückt bedeutet dieser Umstand, daß die r irgendeine beliebige Fokussierung erhaltene Aberrationskurve unmittelbar übertragen werden ınn auf die Fälle, daß das teleskopische System entweder für das paraxiale oder für das Randrahlenbündel auf Unendlich fokussiert ist. Dieses bedeutet einen großen Vorzug bei der Messung er sphärischen Aberration, denn es ist sehr schwierig, wenn überhaupt möglich, nach einfachen ethoden das System für die paraxialen oder für die Randstrahlen auf Unendlich experimentell ı fokussieren.

Entsprechende Überlegungen lassen sich auf die chromatischen Fehler anwenden, denn an kann diese dadurch zum Ausdruck bringen, daß man die sphärischen Aberrationskurven für liche Wellenlängen gesondert bestimmt. Eine andere Darstellungsmöglichkeit besteht darin, daß an den Winkel zwischen zwei verschiedenfarbigen Strahlen, etwa für die Linien $C$ und $F$, estimmt, welchen diese nach dem Austritt aus dem System bilden, vorausgesetzt, daß die beiden

Strahlen aus demselben eintretenden weißen Lichtstrahl hervorgegangen sind; statt der Win kann auch die Dioptriendifferenz der reziproken Schnittweiten als Maß gewählt werden. D Auftragung dieser rein chromatischen Differenzen in Funktion der Wellenlänge liefert eine se anschauliche Darstellung der chromatischen Aberration für eine bestimmte Zone, entsprechend d Darstellung der Kurve des sekundären Spektrums.

Die Messung besteht in folgendem (Abb.): es werden zwei extrafokale photographisc Aufnahmen eines im Brennpunkt eines Kollimatorobjektivs $E$ stehenden Spalts oder Lochs $D$ monochromatischem Licht hergeste Das Objektiv des teleskopischen S stems $F$ trägt eine Hartmannsc Blende $E'$ mit Spalten oder runden Ö




nungen. Die Aufnahmen erfolgen auf Photoplatten $G$ hinter dem Okular des Systems. Gesond gemessen werden der Abstand $l$ zwischen den beiden extrafokalen Stellungen der Platten mitt Skala und Nonius und die Entfernungen $e_1$ und $e_2$ symmetrisch zur Achse gelegener Lochbil auf den Aufnahmen mittels Meßmikroskop. Dann ergibt sich der Winkel $\zeta$ zwischen Strahl u Achse aus der Beziehung

$$\zeta = \frac{e_2 - e_1}{2\,l}\,.$$

Aus diesem Winkel und der Austrittshöhe $h$ der Strahlen in der Austrittspupille folgt der Absta des Strahlenschnittpunktes auf der Achse vom Zentrum der Austrittspupille. Die Reziproken dieser Abstände in Dioptrien für verschiedene Höhen und für verschiedene Wellenlängen lief dann die sphärischen und chromatischen Aberrationskurven, und zwar ist

$$N = \frac{1000\,(e_2 - e_1)}{2\,l h}\,,$$

wo zwischen der Ausfallshöhe $h$ in der Austrittspupille und der Einfallshöhe $H$ in der Eintrit pupille (Objektiv, Lochblende) die bekannte Beziehung $H = hM$ besteht ($M$ = Fernrohrvergrößerun Wenn zugänglich, wird die eine der extrafokalen Aufnahmen in der Austrittspupillenebene gemac dann erhält man $h$ direkt. Die andere Aufnahme sollte in möglichst großem Abstande von d ersteren erfolgen, aber es dürfen die Beugungsscheiben der unscharf abgebildeten Blendenlöch nicht zu groß werden, damit die Genauigkeit der Messungen unter dem Meßmikroskop nicht leid

Zur Erprobung der beschriebenen Methode wurden Messungen an mehreren Ferngläse ausgeführt. Die Ergebnisse werden mitgeteilt. Verglichen werden insbesondere Messungen m kreisförmigen Blendenöffnungen und solche mit spaltförmigen, es wird aber kein Unterschied den Meßresultaten festgestellt. Ebenso werden die Ergebnisse in Vergleich gestellt, wie sie si bei Fokussierung des Systems auf 0 dptr. ($\infty$) und $-4$ dptr. ergeben. Die Unterschiede in d erhaltenen Aberrationsweiten liegen innerhalb der Fehlergrenzen von $\pm$ 0,01 dptr., so daß d Fernrohr bei den Messungen auf ungefähr $-4$ dptr fokussiert werden darf; man arbeitet alsda in einem divergenten Bündel und hat den Vorteil, die zweite extrafokale Aufnahme in größer Entfernung von der Austrittspupille (bzw. der ersten Aufnahmestellung) ausführen zu könne Verglichen wurden ferner die Aberrationsfehler der beiden Hälften von Doppelfernrohren.

Zwei Ferngläser zeigten sogenannten Astigmatismus und Koma auf der Achse, zufolge u sorgfältiger Justierung und Zentrierung der Einzelbestandteile des Fernrohres. *Flügge.*

## Ein Satz über die Brechung von Lichtstrahlenbündeln. Anwendung auf die Berechnung der Leuchtdichte.

*(Théorème sur la réfraction des pinceaux de rayons lumineux. Application au calcul de la brillanc*

*Von* A. Dargenton. *Revue d'Optique* **8.** *S. 4—8. 1929.*

Die Anwendung der allgemeinen Formeln für die Brechung eines Lichtstrahlenbündels füh zu einer einfachen Beziehung zwischen dem Öffnungswinkel eines konischen, von einem erst Medium ausgehenden Lichtstrahlenbündels und dem Querschnitt dieses Bündels nach der Brechun an der Trennungsfläche gegen ein anderes Medium. Die neuartige gesetzmäßige Beziehung laute

$$n^2\,d\sigma\,du = n'^2\,dS'\,d\Omega'.$$

[H]ierin bedeuten: $du$ den räumlichen Öffnungswinkel irgendeines Bündels mit der Spitze in einem [P]unkt $A$; $dS'$ den Querschnitt dieses Bündels in einem beliebigen Punkt $A'$ nach der Brechung [i]n Medium $n'$; $d\Omega'$ den Raumwinkel eines beliebigen Bündels mit der Spitze in $A'$; $d\sigma$ den [Q]uerschnitt dieses Bündels im Punkte $A$ nach der Brechung im Medium $n$.

Diese Beziehung wird auf die Berechnung der Leuchtdichte in einem dicken Linsensystem [a]ngewendet. Wenn $b$ die Leuchtdichte einer Lichtquelle ist und $b_1$ die scheinbare Leuchtdichte [d]er Austrittsfläche der Linse, so gilt:

$$\frac{b_1}{n_1^2} = \frac{b}{n^2},$$

[w]o $n$ und $n_1$ die Brechungsquotienten vor und hinter der Linse sind. Wenn beide Medien gleich [si]nd, besagt die Formel, daß die scheinbare Leuchtdichte der Austrittsfläche gleich der Leucht[di]chte der Lichtquelle ist.

*Flügge.*

## Über den Durchgang schiefer Bündel durch ein symmetrisches Instrument.

*(Note on skew pencils traversing a symmetrical instrument.)*

*Von* T. Smith. *Transact. Opt. Soc.* ***30.*** *S. 130—133. 1928—29.*

Bildpunkte auf einem Hauptstrahl in einer Meridianebene eines symmetrischen Instruments, [fü]r welche der Lichtweg bezüglich eines Lichtbüschels konstant ist, liegen zwischen den beiden [B]rennpunkten der Hauptschnitte. Wenn der Hauptstrahl schief ist, gilt dies nicht mehr allgemein. [P]raktisch ist dies von Bedeutung bei dezentrierten Brillengläsern, wenn nämlich der Augendrehpunkt [ni]cht auf der optischen Achse der Linse sitzt; dann sind nämlich die schmalen Bündel, deren [H]auptstrahlen die Makula treffen, im allgemeinen schiefe Bündel in dem hier verstandenen Sinne.

*Flügge.*

## Reflektierende Systeme für Bildumkehr.

*(Reflecting systems for image inversion.)*

*Von* T. Smith. *Transact. Opt. Soc.* ***30.*** *S. 79—96. 1928—29.*

Die in *dieser Zeitschr.* ***49.*** *S. 517. 1929* in Kürze angezeigte Methode zur Untersuchung von [Sy]stemen ebener Reflektoren wird hier angewandt zur Bestimmung, wieviele optische Flächen [in] einem Umkehrprisma notwendig sind. Vier Flächen bedingen schiefe Brechung in das Prisma. [Mi]t fünf Flächen ist eine Form möglich mit vier Reflexionen. Weiter werden alle möglichen An[or]dnungen mit sechs Reflexionen an fünf Flächen betrachtet und die Anwendung der Methode [au]f Prismen mit noch mehr Reflexionen erörtert.

*Flügge.*

## Einige Notizen zu alten englischen Objektiven.

*(Some remarks on old english objectives.)*

*Von* H. Boegehold. *Transact. Opt. Soc.* ***30.*** *S. 41—43. 1928—1929.*

Der Verf. macht Mitteilungen über ein altes Ramsden-Teleskop, welches wahrscheinlich [ge]gen Ende des 18. Jahrhunderts gebaut wurde und sich seit jener Zeit im Besitz der Nachkommen [vo]n L. J. Schleiermacher (geb. 1785, gest. 1844) befindet. Das Objektiv durfte vom Verf. ge[na]uer untersucht werden, insbesondere wurden an den Linsen Planflächen angeschliffen, um die [Br]echungsverhältnisse auf dem Refraktometer feststellen zu können. Die zu Zwecken des Vergleichs [nöt]liche Reduktion auf 500 mm Brennweite führt dann zu folgenden Daten:

$$\begin{array}{llll} r_1 = +121{,}0 & & & \\ r_2 = -328{,}8 & d_1 = 2{,}98 & n_1 = 1{,}5316 & \nu_1 = 58{,}9 \\ r_3 = -219{,}7 & d_2 = 0{,}25 \text{ Luft} & & \\ r_4 = +453{,}8 & d_3 = 2{,}52 & n_2 = 1{,}59858 & \nu_2 = 37{,}7 \end{array}$$

Die sphärische Aberration beträgt in der Randstrahlenhöhe von 18,3 mm etwa 2,5 mm.

*Flügge.*

### Über die Entwicklung der Brillen in London seit dem Ende des 17. Jahrhunder

*(On the development of spectacles in London from the end of the seventeenth century.)*

*Von* Thomas H. Court und Moritz von Rohr. *Transact. Opt. Soc.* ***30.*** *S. 1—21. 1928—29*

Wir sind imstande, unser Wissen von der Entwicklung der Brillen durch Nachforschun in modernen Sammlungen, speziell der Court Collection, zu vervollständigen. Englische Bril aus der Zeit vor 1666 sind sehr wenig bekannt: wir können höchstens Vermutungen haben. N dem großen Feuer liegt mehr Material vor und wir bemerken, daß Hornbrillen mit festen mit geteilten Gestellen bekannt werden und daß unhandliche Ledergestelle (von unbekannter Fo für kurze Zeit zugleich mit den damaligen *hinged spectacles* (Gelenkbrillen) aufkommen. Marsha Versuche über das gleichzeitige Schleifen und Polieren einer größeren Zahl von Flächen muß genannt werden. Im 18. Jahrhundert wurden die Londoner Handwerker die führenden Brill optiker, insofern sie die Schläfenbrillen und sehr kräftige Nasenbrillen aus Horn und Stahl o (vorzugsweise?) aus präpariertem Leder und Stahl einführten. Die Verf. versuchten so viel möglich über diese Formen in Erfahrung zu bringen. Sie kommen auch auf Walkers unhaltb Vorwürfe gegen die Wollastonschen periskopischen Brillen zu sprechen. Das 19. Jahrhund war keine günstige Epoche für das Meisterhandwerk in London, weil große Brillenwerkstät (in Rathenow und in den Vereinigten Staaten) die Stellung der Brillenverkäufer verschlechtert

*Flügge.*

### Photographien von Reflexions-Kaustiken.

*(Photographs of reflexion caustics.)*

*Von* T. Smith, John S. Anderson und L. C. Cordle. *Transact. Opt. Soc.* ***30.*** *S. 134 (3 Tafe 1928—29.*

In beigegebenen Abbildungen werden Kaustiken veranschaulicht, die durch zweimal Reflexion innerhalb photographischer Systeme bildseitig auftreten. Die Intensität des Lichts na der zweimaligen Reflexion beträgt nur noch $^1/_{400}$ des direkt durchgelassenen Lichts, kann a sichtbar gemacht werden, wenn die Kaustiken auf der Photoplatte angenähert fokussiert werd Als Lichtquelle diente eine Punktlampe in 6 m Entfernung von der Linse. Letztere hatte e Brennweite von 210 mm und eine relative Öffnung $F/4$. Die scharfen Reflexe liegen innerhalb Brennweite des Systems und haben elliptischen Querschnitt; daneben kommen auch Querschni von der Form der Ellipsenenveloppen vor. *Flügge.*

### Objektive und Werkstoffe für Ultraviolett-Photographie.

*(Lenses and equipment for ultra-violet photography.)*

*Von* J. William Gifford. *Transact. Opt. Soc.* ***30.*** *S. 34—40. 1928—29.*

Die vorliegende Arbeit behandelt ein photographisches Objektiv von dem bekannten Aplan Typus, in welchem an Stelle der gewöhnlichen Kron- und Flintgläser entweder Flußspat u Quarz, oder Quarz und Kalkspat verwendet werden. Diese Objektive sind daher für das Ult violett wie für das sichtbare Spektrum mehr oder weniger durchlässig.

Die Flußspat-Quarz-Kombination ist daher besonders merkwürdig, daß bei Ach masie der Brennweiten für die Linien 5609 und 2446 auch die Linie 4861 dieselbe Brennweite liefe Die Abweichungen für die anderen Linien bleiben unter $1^0/_0$. Die Konstruktionsdaten ein Aplanaten aus Flußspat und Quarz sind folgende:

$$\left.\begin{array}{ll} r_1 = +27{,}3003 & d_1 = 1{,}840 \;\; R \text{ Quarz} \\ r_2 = +15{,}2449 & d_2 = 1{,}656 \;\; \text{Flußspat} \\ r_3 = +56{,}3006 & \tfrac{1}{2} d_3 = 7{,}936 \\ \multicolumn{2}{c}{\text{und symmetrisch.}} \end{array}\right\} F = 100$$

Die sphärische Aberration ist nicht ganz behoben, sie beträgt 0,0536 mm. Das Plattenform $8\frac{1}{2} \times 10$ cm wird mit 150 mm Brennweite und 25 mm Öffnung ($F:6$) voll ausgeleuchtet.

Die Quarz-Kalkspat-Kombination hat nicht so günstige Korrektionseigenschaft wie die vorige, da nur für 2 Wellenlängen (5609 und 2573) Achromasie erzielt werden kann. Die Kombination hat aber den Vorteil, in größeren Brennweiten herstellbar zu sein, da Kalksp weniger als Flußspat kostet. Mit einer Brennweite von 250 mm kann das Format $12 \times 16\frac{1}{2}$ c

ısgeleuchtet werden. Sphärische Aberration und Koma sind größer als bei der vorigen Kom-nation, und bei voller Öffnung (38 mm oder $F:6{,}7$) ist die Bildschärfe nicht so ausgezeichnet, ɔer durch Abblendung lassen sich brauchbare Resultate erzielen. Als Beispiel werden die Kon-ruktionsdaten für 100 mm Brennweite wie folgt angegeben:

$$r_1 = +42{,}1366 \qquad d_1 = 1{,}250 \text{ Kalkspat}$$
$$r_2 = +27{,}3690 \qquad d_2 = 1{,}713 \; R \text{ Quarz}$$
$$r_3 = +84{,}2733 \qquad \tfrac{1}{2} d_3 = 7{,}500$$

und symmetrisch.

ır Vermeidung von Doppelbrechung benutzt man in der einen Hälfte $R$-Quarz, in der anderen ·Quarz. Der Quarz und ebenso der Kalkspat sind senkrecht zu den Kristallachsen geschnitten.

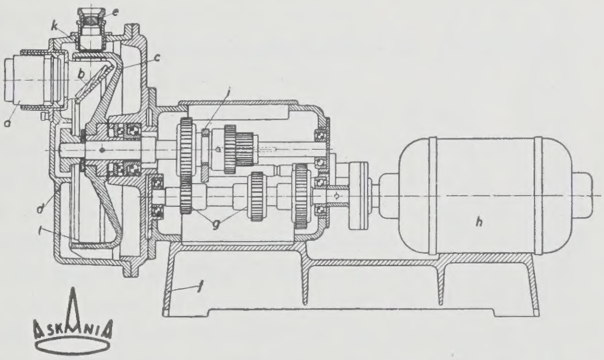
Als Kittmittel kommt nur ein ultraviolett-durchlässiges Material in Frage. Hierzu eignet ɔh die im Handel bei Messrs. Harrington Bros. unter der Markenbezeichnung „*syrupy dextrose*" ngereinigter Traubenzucker) erhältliche Substanz, die zwar sehr langsam trocknet, dabei aber cht auskristallisiert wie die reine Dextrose von Kodak. Die dünne Kittschicht läßt das Ultra-olett bis 223 m$\mu$ ohne wesentlichen Verlust hindurch.

Für Zwecke der Ultraviolett-Photographie ist das sichtbare Spektrum durch Filter zu ɔsorbieren, es ist aber noch nicht genügend Vorarbeit getan, um ein in dieser Hinsicht wirklich auchbares Filter zu empfehlen. Der Verfasser zeigt dies an Hand von Spektrogrammen ver-hiedener ultraviolett-durchlässiger Substanzen. *Flügge.*

## Ein neuer Trommelaufnahme-Apparat.

*Von* F. Beck, Sonderdruck aus *Die Kinotechnik, 1929.* 3 S. 6 Abb.

Zur Untersuchung rasch ablaufender Vorgänge werden mit Vorteil kinematographische Auf-ıhmereihen benutzt, die dann mit langsamem Bildwechsel projiziert werden. Für die Aufnahme-räte, die solchen Sonderzwecken dienen, hat die Technik die Bezeichnung „Zeitdehner" geprägt. elfach sollen diese Geräte nur kürzere Aufnahmereihen rasch verlaufender Vorgänge jedoch mit ɔher Bildfrequenz liefern, z. B. solche ɔn Zündvorgängen oder von perio-schen Erscheinungen. Verf. beschreibt ə Ausführungsform eines derartigen ɘräts, das von den Askania-Werken G., Berlin-Friedenau, gebaut worden ist.




Wie aus der Abbildung zu er-hen ist, wird eine Trommel $c$ von m Motor $h$ über das Wechselgetriebe $g$ Umdrehungen versetzt. Im Inneren s Trommelzylinders $c$ liegt der Film-ɘifen $l$, der gegen schädliches Licht ırch den Deckel $d$ des Trommelgehäuses geschützt wird. Das aufzunehmende Objekt wird durch s im Trommeldeckel befestigte Objektiv $a$ auf dem Spiegel $b$ abgebildet, der es auf den Film-ɘifen wirft. Die Schärfe der Einstellung wird mit Hilfe einer Lupe und der in die Filmebene rschiebbaren Mattscheibe $k$ kontrolliert. Dies geschieht bevor die Filmtrommel in das Gehäuse ıgesetzt wird. Die höchste erreichbare Bildfrequenz bei normalem Kinobildformat beträgt 00 Bilder/Sek., kann aber durch die Wahl kleinerer Formate bis auf das Vierfache gesteigert ɘrden.

Da bei diesen Bildfrequenzen Funkenbeleuchtung die zweckmäßigste ist, kann eine Objektiv-ənde ebenso entbehrt werden wie ein Objektivverschluß der üblichen Art. Die Beschreibung einer ɘrsuchsanordnung zum Studium der Gemischbildung bei Dieselmotoren, auf die hier nicht ·her eingegangen werden kann, erläutert den Gebrauch des Geräts und die Einrichtung zur ınkenbeleuchtung. *W. Keil.*

## Über den photoelektrischen Effekt des Aluminiums und seiner Amalgame

*Von* A. Smits *und* H. Gerding, *Physikal. Zeitschr.* ***30.*** *S. 322—325. 1929.*

Bei Messungen des elektromotorischen Verhaltens des Aluminiums und seiner Amalgan die die Verfasser früher durchführten (*Zeitschr. f. Elektrochem.* ***30.*** *S. 423. 1924* u. ***31.*** *S. 304. 192* kamen sie auf die Vermutung, daß photoelektrische Untersuchungen an diesen Stoffen wichti Ergebnisse zeitigen würden. In der vorliegenden Arbeit berichten sie über die nunmehr durc geführten Untersuchungen. Sie fanden u. a., daß Aluminium und Amalgame desselben mit n 0,26 % Hg photoelektrisch sich stark unterscheiden; bei dem inaktiven reinen Aluminium ist d Photoeffekt vier- bis fünfmal kleiner als bei dem durch Hg aktivierten (Amalgam). Außerdem v ursachen die Hg-Zusätze eine Verschiebung der Grenzwellenlänge. Die Amalgame wurden g wonnen, indem abgewogene Mengen Al und Hg in hochevakuierten abgeschmolzenen Glasröhr unter Schütteln auf 700° erhitzt wurden. Zu Vergleichszwecken wurde reines Al ebenso behande

Die Messungen wurden mit einer gewöhnlichen photoelektrischen Meßeinrichtung durc geführt; eine eingehende Beschreibung der Apparatur soll später folgen. Zwischen Photozelle u Vakuumpumpenaggregat war eine Quecksilberfalle geschaltet. Als Belichtungsquelle diente ei Quecksilberquarzlampe von Heraeus, deren Licht zunächst einen Monochromator durchsetz und dann durch eine aufgekittete planparallele Quarzplatte auf das Metall fiel. Ein mit CuO b decktes Netz aus Cu, das auf dem Potential von + 50 V gehalten wurde, fing die durch die B lichtung zur Emission gelangenden Elektronen auf, während die positive Aufladung des belichtet Metalls mittels Elektrometer gemessen wurde. Vor Einbringung in die Apparatur wurde die Obe fläche des Metalls poliert und gründlich gesäubert; eine besondere elektromagnetisch betätigte Ei richtung gestattet es, die Metalloberfläche im Vakuum durch Abschaben zu erneuern.

Das oben erwähnte Ergebnis zwingt zu dem Schluß, daß bereits sehr geringe Mengen H eine sehr merkliche Änderung des inneren Zustandes des Aluminiums bewirken. Die Theorie d Allotropie, die dies nach den zitierten früheren Arbeiten erwarten ließ, stützt die Deutung, da passives Aluminium sich in einem Zustand gestörten inneren Gleichgewichts befindet, d. h. ei Defizit an Ionen und Elektronen besteht, das durch geringe Mengen Hg bereits ausgeglichen wir Daraus muß die gefundene Verstärkung des photoelektrischen Effektes erklärt werden.

*W. Keil.*

## Zur Frage der Küstenbrechung und Peilschwankung elektromagnetischer Wellen.

*Von* P. Duckert, *Beitr. z. Physik d. fr. Atmosphäre.* ***14.*** *S. 154—161. 1928.*

Die Funkortung hat sich in der See- und Luftfahrt noch nicht in dem Maße einbürger können, wie es die Entwicklung dieser Verkehrszweige fordert. Das hat seinen Grund in Unsiche heiten der Methoden. Insbesondere ist die Frage der Beeinflussung elektromagnetischer Welle hinsichtlich ihrer Ausbreitungsrichtung durch atmosphärische Faktoren noch nicht befriedigen geklärt, ebenso wie der Einfluß des Überganges des Peilstrahles von See auf Land und umgekehr ein Einfluß, der als „Küstenbrechung" bezeichnet wird. Der Verf. kommt zu dem Ergebnis, da es äußerst schwierig ist, die „Küstenbrechung" von meteorologischen und aerologischen Effekte zu trennen. Im einzelnen kann er an Beobachtungsmaterial, das ihm die Reichsmarine zur Ve fügung stellte, die aufgetretenen Peilfehlweisungen auf Witterungseinflüsse zurückführen. Am Schlu seines Aufsatzes skizziert er ein Programm für weitere Versuche, von dessen Durchführung er sic wesentliche Fortschritte auf dem Wege zur Lösung der behandelten Fragen verspricht.

*W. Keil.*

## Vakuumtechnische Neuerungen für Hochvakuumapparaturen.

*Von* M. Knoll. *Zeitschr. f. techn. Phys.* ***10.*** *S. 294 — 299. 1929.*

Im praktischen Betrieb müssen Kathodenstrahl-Oszillographen wie auch viele andere Hoch vakuumgeräte häufig geöffnet werden. Der hierdurch verursachte Zeitverlust bis zur erneuter Betriebsbereitschaft muß auf ein Mindestmaß herabgesetzt werden. Vorrichtungen, die eine Bewegung von im Hochvakuumraum befindlichen Teilen ohne Störung des Vakuums gestatten, ferner solche die eine schnelle Wiederherstellung und laufende Überwachung des Hochvakuums ermöglichen

paren daher viel Arbeitszeit; einige hierfür in Frage kommende, erprobte Anordnungen seien im olgenden beschrieben.

Bewegungen an im Inneren des Vakuumgefäßes befindlichen Teilen können bei kleinem Hub lurch mit Quecksilber gedichtete Schliffe oder durch nachgiebige Flächen aus Blei bzw. Metallnembranen bewerkstelligt werden. Wesentlich umfangreichere Bewegungen erreicht man mit 'ederungskörpern aus Tombak (geliefert von den Berlin-Karlsruher Industriewerken A.-G), lie eine Längenänderung von 40% hergeben. Eine in dieser Weise ausgeführte Verstellvorrichtung m vorliegenden Beispiel zur Verstellung der Ablenkplatten eines Kathodenstrahl-Oszillographen lienend) zeigt Abb. 1. Die die zu bevegende Ablenkplatte *a* tragende Spin-

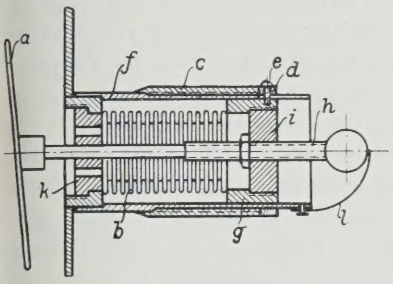


Abb. 1.

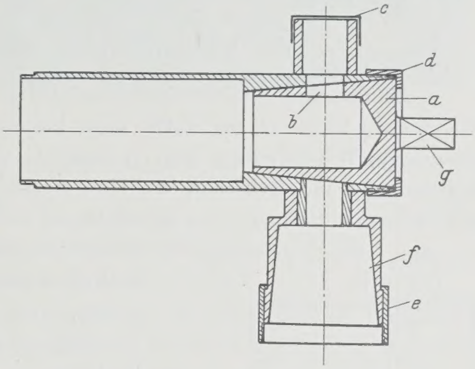


Abb. 2.

lel *h* ist mittels der eingekitteten Bakelitscheibe *i* in einem Führungsring *g* gehalten; die Bakelitscheibe *k* dient als Halslager. g ist an das Oszillographengehäuse durch den angelöteten Fedeungskörper *b* hochvakuumdicht angeschlossen. Die Bewegung bewirkt die auf der Hülse *f* verstellbare Mutter *c*, die *g* mittels der in den Mitnehmerring *d* eingesetzten Schrauben *e* faßt (*l* ist in Bügel zur Erdung der Ablenkplatte).

Um bei kurzen Betriebsunterbrechungen die Hochvakuumpumpe areitsbereit zu halten (auch, um Undichtigkeiten rasch aufzufinden), ist ein Hahn (mit möglichst geringem Strömungswiderstand) zwischen Pumpe und Vakuumgefäß vorteilhaft. Eine geeignete Ausführung zeigt Abb. 2. Der Hahn vird mit dem durch die Hülse *e* gesicherten Schliff *f* unmittelbar auf die Pumpe aufgesetzt. Das hohle Küken *a* mit einer einzigen großen Öffnung *b* gestattet, den Innenraum des Hochvakuumgefäßes abzuschließen, bzw. ihn nit der Pumpe oder über den Ansatz mit Staubschutzkappe *c* mit der Außenluft zu verbinden. Die Überwurfmutter *d* hält das Küken in seiner Lage. Der Hahn wird aus Messing oder (bei Anwesenheit von Quecksilber) aus Stahl hergestellt.

Zur bequemen Überwachung des Vakuums wird an das Gehäuse ein Entladungsrohr gemäß Abb. 3 angeschlossen. Das an ein Kupferrohr *a* angeschmolzene Glasrohr *b* enthält die Anode *c* und die Kathode *d* aus Aluninium. Der Anschluß an das Gehäuse erfolgt über die beiden, mit versetzten Kanten ausgestatteten Flanschen *e* und *g*; die dazwischen eingelegte Bleidichtung *i* dichtet bei Verschraubung der Flanschen sicher ab. Diese Dichtungsart wird für Röntgenzwecke von Philips-Eindhoven bis u 70 mm Dmr. ausgeführt.) Über das Entladungsrohr *b* ist ein innen geschwärzter, geschlitzter Schutzzylinder *k* mit abnehmbarer Kappe *l* geschoben, der auch im hellen Raum eine sichere Beurteilung der Entladung ermöglicht.

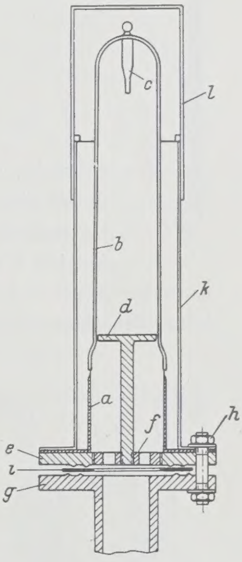


Abb. 3.

Um bei Dichtungsstellen, die häufig geöffnet werden müssen, die zeitraubende Mühe des Einfettens und Nachschleifens zu ersparen, kann man sauber abgedrehte Flanschen mit Gummiringdichtung verwenden, die bei Benutzung einer geeigneten Gummiart auch nach mehreren hundert Öffnungen noch eine einwandfreie Dichtung herstellen. Als brauchbar erwies sich der Spezialgummi,

den die Siemens-Schuckert-Werke bei Quecksilberdampf-Gleichrichtern zur Abdichtung ve wenden. Eine Abschützung der dem Hochvakuumraum zugewendeten Innenfläche des Gummirin zwecks Herabsetzung der an sich geringen Gasabgabe hat sich bei Verwendung der leistungsfähige Diffusionspumpen als überflüssig erwiesen. Damit ist eine auch für häufig zu öffnende Verbindung stellen geeignete Dichtung geschaffen, die in der Herstellung überaus einfach und in der Handhabu sehr bequem ist. *C. Stoerk.*

## Ein- und Ausführung von Platten und Filmen an Kathodenoszillographen ohn Störung des Hochvakuums.

*Von* P. Hochhäusler. *Elektrot. Zeitschr.* ***50.*** *S. 860—864. 1929.*

Bei den modernen Glühkathodenoszillographen (Rogowski und Mitarbeiter, Dufour, Gabo ist immer, wenn es auf kurze oder kürzeste Belichtungszeiten (Aufzeichnung atmosphärische Störungen, Wanderwellen usw.) ankommt, die Registrierplatte bzw. der Film im Vakuum de Instrumentes untergebracht, um eine möglichst weitgehende Ausnutzung des Kathodenstrahls z gewährleisten. Solange nicht Anordnungen anderer Art, z. B. das Lenardfenster, wie sie in letzte Zeit für Außenaufnahmen kurz dauernder Vorgänge vorgeschlage und auch schon mit Erfolg versucht wurden, dasselbe oder meh leisten, wird man wohl oder übel in solchen Fällen die mit de Unterbringung des Films im Vakuum verknüpften Unbequem lichkeiten und Erschwerungen der Apparatur in Kauf nehme müssen, insbesondere das entweder bei großen Dichtungsfläche dauernde oder doch nach jedesmaligem Plattenwechsel erforde lich werdende Pumpen. Schon früher sind hierfür, besonder durch Zerlegen des Apparates (Entladungsraum = Hochvakuum Plattenraum = Vorvakuum), Erleichterungen geschaffen worde

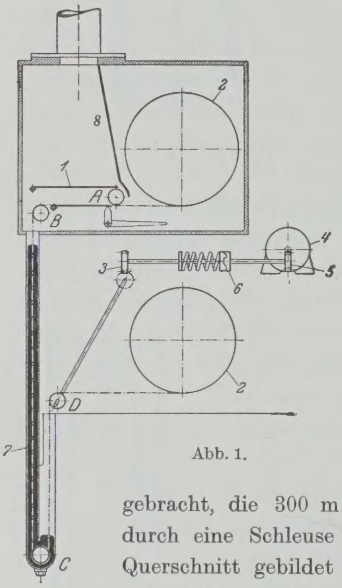


Abb. 1.

Verf. beschreibt in der vorliegenden Arbeit zwei Einrich tungen, die sich auf kontinuierlichen Transport eines Rollfilms au dem Oszillographen nach außen und auf das Vakuum nich beeinflussenden Plattenwechsel beziehen.

1. Der Grundgedanke des ersten Verfahrens ist bestechend einfach (Abb. 1). Im Vakuumraum ist eine Vorratskassette 2 unter gebracht, die 300 m Normalkinofilm faßt. Der abgespulte und belichtete Film geht durch eine Schleuse 7, die durch ein quecksilbergefülltes Barometerrohr mit flachem Querschnitt gebildet wurde, ins Freie. Andere Teile sind: Lichtschutz 8, Verschluß 1 Antrieb 3, 4, 5, 6, Filmführung *A*, *B*, *C*, *D*. Die Anordnung erlaubt sowohl kontinuierliche Aufnahmen (bei dauernd ablaufendem Film) als auch, in Verbindung mit der üblichen Zeitablen kung, Einzelaufnahmen zu machen. Auspumpen des Oszillographen ist nach vollständigem Ver brauch der Vorratstrommel 2 nötig.

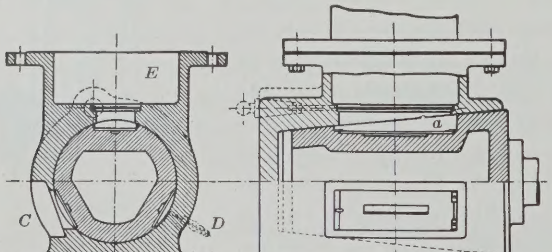


Abb. 2.

2. Die zweite Anordnung, die dem Ref. für die Praxis und für Dauerbetrieb noch geeigneter erscheint, ist in der Abb. 2 schematisch, in Abb. 3 in der Ansicht wiedergegeben. Der bei *E* angeschlossene Entladungsraum wird fortlaufend mittels Diffusionspumpe auf Hochvakuum gehalten. Die Plattenschleuse besteht aus einem als konisches Hahnküken ausgebildeten Revolver mit drei um 120° gegeneinander versetzt eingebauten Platten-Kassetten. Bei *C* wird die neue Platte mittels eines lichtdichten Sackes eingelegt, nach 120°-Drehung bei *D* der Kassettenraum auf Vorvakuum entlüftet; nach weiterer Drehung um 120° liegt die Platte, zunächst noch durch eine von außen wegdrehbare Klappe geschützt, in der Belichtungsstellung. Nach

r Belichtung erfolgt eine weitere 120°-Drehung, die die Platte an den Eingang zurückbringt, wo gegen eine frische ausgewechselt rden kann. Man sieht, daß sich ganze Folge: Einlegen, Entlüften, ıfnehmen, Wechseln, ohne Zeitverst abwickelt und daß die Aufhmen so rasch aufeinander folgen nnen, wie man die Platten wechn kann.

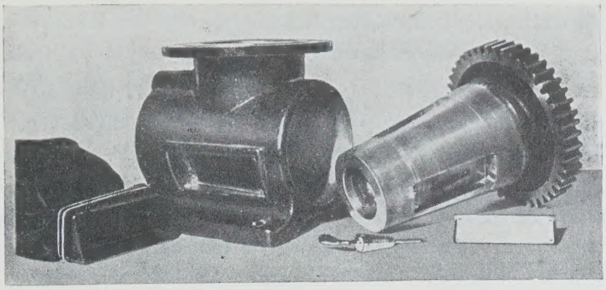


Abb. 3.

Die Arbeit enthält ferner die klärung der Anordnungen zur Verllung der Ablenkplatten und zur itablenkung sowie Beschreibung ıd Bilder der vom Verf. in Zusammenarbeit mit der Studiengesellschaft für Höchstspanıngsanlagen gebauten Oszillographen.

*Sewig.*

## Zur Beurteilung von Eisenkernen in der Schwachstromtechnik.

*Von* Gerhard Lohrmann. *Wiss. Veröffentl. a. d. Siemens-Konzern* **8.** *Heft 2. S. 163—196. 1928.*

Die Arbeit behandelt die Einflüsse, die die Eigenschaften eines Eisenkernes auf die Wirkungseise von Spulen und Schwachstrom-Transformatoren ausüben. Zunächst wird an einer Reihe rschiedenartiger Spulenformen gezeigt, wie der Eisenkern zur Erzielung einer möglichst hohen itkonstante zu dimensionieren ist. Hier erhält man als wichtigstes Ergebnis, daß die Eisenmenge r optimale Verhältnisse stets gleich der Kupfermenge ist. Im folgenden ergibt die Untersuchung r Eisenverluste und ihres Einflusses auf die Dämpfung der Spule, daß die günstigste Dämpfung ımer dann vorhanden ist, wenn die Eisenverluste gleich den Kupferverlusten sind, und zwar ıabhängig von Spulengröße und Eisensorte. Diese Bedingung kann man z. B. durch einen geeignet mensionierten Luftspalt im Eisen erfüllen. Auch die Wirkung einer mehr oder weniger hochozentigen Ausfüllung des Spulenfeldraumes mit Eisen wird untersucht. Die Deduktion führt auf wisse ausgezeichnete Frequenzen, z. B. solche optimaler Dämpfung, oder z. B. auf Grenzfrequenzen r den offenen bzw. geschlossenen Eisenkern, oberhalb deren die Verwendung von Eisenkernen erhaupt unpraktisch wird. Ähnliche Betrachtungen werden im folgenden für den Transformator rchgeführt, wobei der Wirkungsgrad besonders berücksichtigt ist. Es ergeben sich generell die eichen Resultate wie für Spulen (Verlustaufteilungsgesetz: Eisenverluste = Kupferverluste, Frequenzenzen). Endlich wird das Widerstandsdiagramm des Transformators behandelt und im besonderen zeigt, wie die Eigenschaften des Eisenkernes in solchem Diagramm in Erscheinung treten.

*Zickner.*

## ber den Einfluß der Korngröße auf die magnetischen Eigenschaften des Eisens.

*Von* Otto von Auwers. *Wiss. Veröffentl. a. d. Siemens-Konzern,* **8.** *Heft 2. S. 197—209. 1928.*

Zur Lösung der strittigen Frage, ob die Kristallgröße Einfluß auf das magnetische Verhalten s Eisens hat, wurden erneut Proben von reinem Elektrolyteisen von chemisch und thermisch llig gleicher Vorbehandlung untersucht. Die Proben unterschieden sich lediglich durch die Korngröße.

Es zeigte sich, daß die Wattverluste proportional der dritten Wurzel aus der Kornzahl pro lumeneinheit abnehmen. Außerdem ergaben sich Einflüsse auf die Koerzitivkraft, Remanenz ıd Permeabilität, während Sättigung und spezifischer Widerstand von der Korngröße unabhängig ıd. Aber die beobachteten Einflüsse ließen sich durch verschiedene Glühverfahren willkürlich schwächen oder verstärken. Daraus wird geschlossen, daß es sich um Oberflächenvorgänge an n Korngrenzen handelt und daß somit Kornzahl bzw. Korngröße die magnetischen Eigenschaften ır mittelbar beeinflussen, da die Verteilung von verunreinigenden Oberflächenschichten natürlich n der Korngröße abhängt. Die Korngröße selbst ist bei hochgradig gereinigtem Material vermutlich nflußlos.

*Zickner.*

# Bücherbesprechungen.

**R. Hallo,** Die Sternwarten Kassels in hessischer Zeit, 51 S., 12 Abb., Veröffentl. d. Phys.-hist. Arbeit gemeinschaft am Hess. Landesmuseum zu Kassel. 1929.

In *dieser Zeitschr.* ***49.*** *S. 356 u. ff. 1929* wurde nach der Arbeit von H. J. Seemann die persisc Sternwarte zu *Marâgha* aus dem 13. Jahrh. besprochen. Hier wurde darauf hingewiesen, daß d älteste deutsche Sternwarte, die Wilhelms IV. zu Kassel, viel jüngeren Datums ist. Von ihr u den anderen Kasseler Sternwarten der nächstfolgenden Zeit spricht R. Hallo. Während die Ster warte zu *Marâgha* auf dem Rücken eines Berges mit allseitigem Rundblick stand und ihre Instrument wie wir der betreffenden Schrift entnehmen müssen, auf dem Erdboden fundiert waren, befand sich die Observatorien Kassels durchgehends auf Gebäulichkeiten, teilweise sogar mit beschränkte Ausblick. Die ersteren Observatorien gestatten auch keine erschütterungsfreie Aufstellung d Instrumente.

Die älteste Sternwarte Kassels errichtete 1560 der Landgraf von Hessen, Wilhelm IV. a seinem Schloß. Zu dem Zwecke wurden an den beiden Enden der einen Schloßfront zwei rechteck Ausbauten, zeitlich wohl nacheinander, aufgeführt. Auf den mit Balustraden geschützten offen Plattformen dieser Ecktürme, den Beobachtungsplätzen der Sternwarte, war der Blick durch d hochragende Schloßdach eingeengt, wenn auch dieser Mißstand durch Heraustreten der Türme üb die Schloßfronten gemildert war. Über die Instrumentenausrüstung dieser Sternwarte erhalten w einen gewissen Aufschluß durch das Inventarverzeichnis des Jahres 1637, wenn es auch nicht vo ständig die Instrumente zur Zeit der Gründung aufzählen wird, da möglicherweise in den dazwisch liegenden Jahrzehnten das eine und andere Instrument unbrauchbar geworden ist und ausgeme wurde. Der reichen Ausrüstung der Sternwarte zu *Marâgha* mit Beobachtungsinstrumenten ste die Wilhelms IV. nach. Neben wertvollen Himmelsgloben und verschiedenen Uhren werden au geführt: ein kunstvoll verzierter Sextant, ein kleiner hölzerner Oktant, eine vermutliche Armilla sphäre, zwei Astrolabien jüngeren Datums und ein „klein Quadrant neben dem Horizontal benebe einem großen". Der eifrige und gelehrte fürstliche Sternbeobachter und seine Helfer haben sich z ihren Messungen nach meiner Ansicht vornehmlich des letzteren Instrumentes bedient. R. Wolf berichtet uns nach alten Quellen, daß Wilhelm einen Quadranten zu seinen Arbeiten benutzte. E st die Annahme nicht von der Hand zu weisen, daß es bei dem zuletzt aufgeführten Instrumen sich um ein solches handelt, mit dem man Höhe und Azimut messen konnte. Zur Ermittlung de ersteren diente der große Quadrant, während das Azimut vielleicht am „kleinen Quadranten nebe dem Horizontal", der in den Horizontalkreis konzentrisch eingebaut zu denken ist, abgelesen werde konnte. Ein anderes Azimutalinstrument ist nicht aufgeführt, obwohl ein solches unbedingt nöti war. Deklination und Rektaszension wurden wohl mit der Armillarsphäre ermittelt.

Mit Wilhelm IV. hat die Hochblüte der Kasseler Sternforschung ihr Ende gefunden, wen auch unter seinen Nachfolgern dieser Wissenszweig nicht ganz vernachlässigt wurde. Das unvoll kommene und insbesonders gegen Wetterunbilden gänzlich ungeschützte Observatorium ließ scho unter Wilhelms IV. Sohn, Moritz, einen Plan zu einem turmartigen Observatorium, das die alte Mängel vermeiden sollte, reifen. Der Plan wurde aber nicht verwirklicht, erst 1690 schritt Landgra Karl zum Bau eines neuen Observatoriums auf dem zum Kunsthaus umgebauten Ottoneum. De das Gebäude überragende Mitteltrakt trug eine rechteckige offene Altane etwa im Ausmaß $10 \times 6$ m auf der sich ein achteckiger Aufbau befand. Dieser gedeckte, mit einer Laterne gekrönte Aufba hatte Stockwerkshöhe. Eine besonders auffallende Neuerung war der eingebaute Luftstuhl, ei hochgetriebener Lift, der allerdings nicht ausschließlich der Bequemlichkeit der Beobachter diene sollte. Der Aufbau hatte Glasfenster für die Beobachtung, die aber auch auf den Altanen durch geführt werden mußte, da in dem gedeckten Raum die Umgebung des Zenits nicht gesehen werde konnte. Für die freie Beobachtung standen auch zwei Galerien auf dem Dachfirst des ganze Gebäudes zur Verfügung. Über die Ausrüstung der neuen Sternwarte mit Instrumenten berichte uns R. Hallo fast nichts. Vermutlich wurde das Instrumentarium der alten Sternwarte transferiert

[1]) R. Wolf, Handbuch der Astronomie, § 356. 1892.

ll wurde dort ein großer Quadrant aufgestellt. Auch Fernrohre fanden nach R. Hallo dort rwendung.

Es ist verständlich, wenn auch dieses zweite Observatorium nicht allen Ansprüchen der obachter genügte. Alsbald wurde mit dem Bau der dritten Sternwarte begonnen, zu der der alte ɜhrturm der Stadtbefestigung, der Zwehrenturm, umgebaut werden sollte. 1707 war nach mehrıriger Bauzeit die neue Warte fertiggestellt. Damit ist die verbreitete Ansicht, daß der Zwehren-:m die älteste Sternwarte Kassels sei, widerlegt. (*Diese Zeitschr.* ***49.*** *S. 356. 1929.*). Eine besondere rbesserung der neuen Sternwarte gegenüber den bisherigen sollte die Anbringung einer Drehkuppel deuten, eines achteckigen Aufbaus mit 16 Fenstern, überragt von einer Laterne. Über die In-umentenausrüstung der neuen Warte berichtet R. Hallo nur wenig. Aus angeführten Rechnungs-szügen ist zu entnehmen, daß schon vor Vollendung des Baues vorhandene Stücke instand gesetzt d dann auf den Zwehrenturm gebracht wurden. Die ganze Ausrüstung konnte aber nicht den rhandenen Beständen entnommen worden sein, weil die anderen Observatorien noch in Benützung eben. Die neue Warte scheint überhaupt wenig Beifall gefunden zu haben, da schon 7 Jahre äter, 1714, Landgraf Karl seine dritte Sternwarte erbaute. Sie wurde aus der Stadt hinaus-rlegt nach dem Schloß Bellevue. Diese Warte zeichnete sich durch hohe Lage und durch er-hütterungsfreie Fundamentierung aus. Sie bestand aus einem gedeckten Raum, einem achteckigen ırm mit hohen Fenstern, der mit einem dem Stil der damaligen Zeit entsprechenden Kuppeldach gedeckt war, und aus mit Balustraden bewehrten Altanen, die sich kreuzweise an den Turm an-hlossen. Die Neuerung des Zwehrenturmes fand hier keine Nachbildung, offenbar hat sie den wartungen nicht entsprochen. Über die instrumentale Bestückung dieser Warte gibt uns die hrift R. Hallos keine näheren Angaben. Wir erfahren nur, daß 1732 ein 18 Fuß langes Fernrohr ›n dieser Warte verschenkt, und daß vornehmlich später Instrumente zwischen diesem und dem ınsthausobservatorium hin und her geschickt wurden. Das neue Observatorium wurde alsbald ch der Fertigstellung seinem eigentlichen Zweck entzogen und blieb Jahrzehnte lang unbenützt. lerdings lag zu dieser Zeit die astronomische Forschung in Kassel arg danieder und erst unter :iedrich II. kam neues Leben in die erstarrte Gelehrtenarbeit. Im letzten Drittel des 18. Jahr-nderts zeigte sich unter dem Astronomen Carl Matsko in den alten Observatorien auf dem ınsthaus und auf dem Schloß Bellevue eine rege Tätigkeit. Den gewachsenen Bedürfnissen ent-rechend entstanden neue Projekte für eine moderne Sternwarte. Nach den Plänen des S. L. du Ry, nen als Vorbild die Akademie von Bologna mit ihrer Sternwarte diente, wurde der Zwehrenturm, r Jahrzehnte lang unbenützt und durch Umbau unterdessen profanisiert war, als Träger der neuen ernwarte eıwählt. Dazu wurde der Turm innen und außen vollkommen umgestaltet, der früher ɜi stehende Turm wurde in das „Museumsgebäude" mit einbezogen, unverjüngt über das Haus naausgeführt und mit einer Altane abgedeckt. Unmittelbar darunter beherbergte er die eigentliche ›obachtungsstätte, wozu auch die vorgekragten Balkone in diesem Stockwerk gehörten. Wenn ch R. Hallo nicht von Dacheinschnitten für die Beobachtung in der Nähe des Zenits spricht, muß man wohl diese annehmen, da solche der Astronom Matsko schon früher für das Kunst-usobservatorium gefordert hatte. Daß der monumentale Bau auf das Modernste instrumental ıgerichtet wurde, geht aus der Bemerkung von R. Hallo hervor, daß bei der nicht viel späteren ɜrlegung verschiedener wissenschaftlicher Institute von Kassel nach Marburg die Inventare der ernwarte von der Entnahme zahlreicher Instrumente zeugen. 1785 kann man den Bau der neuesten ernwarte als abgeschlossen betrachten, als der große Quadrant aus dem Kunsthausmuseum (s. o.) f dem neuen Observatorium aufgestellt worden war. Mit dem gleichen Jahr beginnt aber auch r Verfall der Sternwarte. Der Erbauer Friederich II. starb 1785 und sein Nachfolger Wilhelm IX. ıute, wie oben gesagt, Marburg auf Kosten Kassels aus. *J. Frank.*

**Bonsdorff,** Verhandlungen der in Berlin vom 24. bis 28. September 1928 abgehaltenen vierten Tagung der baltischen geodätischen Kommission. Helsinski 1929.

Die hier interessierenden Teile der Verhandlungen beziehen sich auf Winkelmessungen in :eiecksnetzen erster Ordnung, auf die geplanten Grundlinienmessungen und auf die Bestimmung ›n Längenunterschieden der Landeszentralen.

Bei den Winkelmessungen handelt es sich um vier, von der früheren Preußischen Landesaufnahme und dem heutigen Reichsamt für Landesaufnahme seit 1900 gemessenen Hauptdreiecksnetze; bei diesen Netzen ergaben sich bei einer beobachteten Richtung für den mittleren Fehler $m_S$ aus der Stationsausgleichung, den mittleren Fehler $m_\Delta$ aus den Dreieckswidersprüchen (nach der internationalen Formel) und den mittleren Fehler $m_N$ aus der Netzausgleichung die folgenden Werte:

| Netz | Zeit | $m_S$ ″ | $m_\Delta$ ″ | $m_N$ ″ | Zielbeleuchtung |
|---|---|---|---|---|---|
| Westpreußen | 1900—1904 | 0,17 | 0,17 | 0,33 | Heliotrop |
| Ostpreußen | 1904—1908 | 0,16 | 0,19 | 0,26 | Heliotrop |
| Berlin-Schubin | 1908—1914 | 0,15 | 0,18 | 0,24 | Heliotrop |
| Schlesien | 1922—1928 | 0,15 | 0,15 | 0,18 | Heliotrop und künstl. Licht bei Tag und Nacht |

Die Mitteilungen über die beabsichtigten — inzwischen ausgeführten — Grundlinienmessungen beziehen sich hauptsächlich auf die Lage, die Länge und die örtlichen Verhältnisse der einzelnen Grundlinien. Mit Rücksicht auf Veränderungen der Drahtlängen soll mit acht Drähten gemessen werden.

Die von E. Kohlschütter gemachten Vorschläge für die Bestimmung der Längenunterschiede der Landeszentralen sind auf Grund der Erfahrungen ausgearbeitet worden, die beim Preußischen Geodätischen Institut bei der Ausführung von Längenbestimmungen mit Hilfe von Funkzeitsignalen gemacht worden sind. *P. W.*

**J. Koppmair,** Nadirtriangulierung. Diss. Techn. Hochsch. München 1928.

Die Verarbeitung von Luftmeßbildern durch Entzerren mit einem Einbildinstrument oder durch Auswerten mit einem Zweibildinstrument erfordert die vorherige Festlegung der zum Einpassen der Bilder in dem Instrument erforderlichen Paßpunkte. Die Festlegung dieser Punkte nach dem numerischen Verfahren ist besonders mit Rücksicht auf die örtlich auszuführenden Messungen kostspielig; Untersuchungen über die Möglichkeit, die Paßpunkte mit Hilfe der Luftbilder selbst, also photogrammetrisch festzulegen, sind deshalb von großer Bedeutung. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich, einen früher von S. Finsterwalder ausgesprochenen Gedanken weiter verfolgend, mit der photogrammetrischen Bestimmung von Paßpunkten für die mechanische Entzerrung von ungefähr horizontal aufgenommenen Luftmeßbildern mit einem Einbildinstrument auf Grund der zu entzerrenden Bilder. Die Festlegung der Punkte erfolgt mit Hilfe eines Netzes; man kann deshalb das Verfahren als „netzweise photogrammetrische Punktbestimmung mit horizontalen Luftbildern“ bezeichnen.

Die Untersuchungen des Verfassers sind teils theoretischer teils praktischer Art; die letzteren beziehen sich auf ein Gebiet im Zillertal mit tief eingeschnittenen Tälern und steilen Talwänden. Trotz der ungünstigen Verhältnisse des den praktischen Untersuchungen zugrunde liegenden Gebietes — das Netz der photogrammetrisch festgelegten Punkte überwindet einen Höhenunterschied von nahezu 1100 m — liefert das Verfahren Ergebnisse, die selbst in dem Maßstab 1:10000 den praktischen Anforderungen genügen. Wird das Verfahren bei einem nahezu ebenen Gelände angewendet, wo die Einflüsse der Höhenunterschiede verschwinden, so entspricht seine Genauigkeit derjenigen einer sehr guten Zeichnung; das Verfahren reicht demnach für viele Zwecke vollständig aus.

Die Arbeit bildet einen wertvollen Beitrag zur Beurteilung der praktischen Anwendung der Photogrammetrie. *P. W.*

**Hugo Freund,** Leitfaden der kolorimetrischen Methoden für den Chemiker und den Mediziner. Kl. 8°. 223 S. Im Selbstverlag des Verf. (Wetzlar). Geb. 9,— RM.

Die in der chemischen und medizinischen Fachliteratur weit zerstreuten jüngeren Veröffentlichungen kolorimetrischer Arbeitsmethoden sind hier gesammelt und nach sachlichen Gesichtspunkten geordnet. Im Gegensatz zu den meisten älteren zusammenfassenden Darstellungen, die, wie der Verf. richtig bemerkt, mehr von den Apparaten und den Grundlagen, als von den

Anwendungen der Kolorimetrie handeln, wurde in dieser Monographie das Hauptgewicht auf die Beschreibung der mannigfaltigen Anwendungen gelegt. Demgemäß ist das Kapitel über die Instrumente kurz, sogar knapp; es werden nur das Duboscqsche Modell in der Ausführung der Firma E. Leitz und das Bürkersche Kompensations-Kolorimeter beschrieben. Die außerordentlich verbreiteten Kolorimeter nach Autenrieth und Königsberger, die von der Firma F. Hellige mit Farbkeilen für eine große Anzahl einzelner Elemente und Verbindungen ausgestattet worden sind, fehlen ganz. Es folgen dann die Hauptkapitel: die Kolorimetrie in der Medizin, der Nahrungsmittelchemie, der Agrikulturchemie, der Wasseranalyse und in der Metallchemie, schließlich werden noch drei Sonderfälle (Chrom in Leder, Zyanwasserstoff und Benzin) beschrieben. Die reichliche Hälfte des Buches ist den medizinischen Methoden gewidmet. Die Darstellung gründet sich auf die Fachliteratur der Nachkriegszeit und ist so ausführlich, daß man, ohne die Originalarbeiten heranzuziehen, danach arbeiten kann; die Literatur ist zweckmäßigerweise nach jedem Abschnitt zusammengestellt; u. a. ist auch die Bestimmung der im Körper eines Patienten zirkulierenden Gesamtblutmenge mit allen für die Berechnung nötigen Grundlagen beschrieben. Der Fortschritt der kolorimetrischen Meßkunst tritt neben dem medizinischen Kapitel besonders deutlich in demjenigen der Metallchemie hervor, wo Verf. sich der wertvollen Unterstützung des Ing. Chemikers Otto Kropf, von den Stahlwerken Rochling-Buderus in Wetzlar erfreute. Vermöge der auch sonst vielfach zutage tretenden unmittelbaren Berührung des Verf. mit den Fachleuten der oben genannten Disziplinen stellt der Freundsche Leitfaden die umfassendste und beste Bearbeitung der Kolorimetrie dar; er gehört in jedes klinische und in jedes chemische Institut, Nahrungsmittelamt und Hüttenwerk. *Löwe.*

---

## Zuschrift.

### Bezeichnung des Standes und des Ganges einer Uhr.

Der Wissenschaftler, der „Verbraucher" der Präzisions-Uhrzeit, bezeichnet als „Uhrkorrektion" oder „Stand der Uhr"[1], wie die Uhrmacher sagen, diejenige Zahl, die er an die „Uhrangabe" (d. i. die durch die Uhr angezeigte Zeit) anbringen muß, um die richtige Zeit zu erhalten. Er rechnet daher nach der Formel:

$$\text{Uhrangabe} + \text{Uhrkorrektion} = \text{richtige Zeit.}$$

Das Vorzeichen der Uhrkorrektion ist dabei natürlich als algebraisches Vorzeichen zu werten. Ist die Uhr gegen richtige Zeit zurück, so hat die Uhrkorrektion positives Vorzeichen (+); zeigt die Uhr gegen richtige Zeit vor, so ist die Uhrkorrektion negativ (—). Im ersten Falle ist die der Uhrkorrektion entsprechende Zahl zur Uhrangabe zu addieren, im zweiten Falle ist sie von der Uhrangabe zu subtrahieren, damit die richtige Zeit erhalten wird.

Entsprechend verfährt der Wissenschaftler mit Rücksicht auf seine Formeln bei der Vorzeichenbestimmung des „täglichen Ganges", d. h. des in 24 Stunden stattfindenden Voreilens bzw. Nachbleibens der Uhr[1]. Er gibt dem täglichen Gange beim Nachbleiben der Uhr das Vorzeichen „Plus", beim Voreilen der Uhr das Vorzeichen „Minus".

Diese ganze Art der Vorzeichenbestimmung beruht also darauf, daß es den Astronomen darauf ankommt, die richtige Zeit zu ermitteln. Den Uhrmacher bzw. den Regleur interessiert die

---

[1] Der „Stand einer Uhr" oder die „Uhrkorrektion" ist diejenige Zahl, die von der durch eine Uhr angezeigten Zeit abgezogen oder die hinzugezählt werden muß, um die richtige Zeit zu erhalten. Der „tägliche Gang" einer Uhr oder kurz „Uhrgang" ist der Unterschied zwischen zwei Ständen bezw. Uhrkorrektionen an zwei aufeinanderfolgenden Tagen, also der Betrag des in vierundzwanzig Stunden stattfindenden Voreilens oder Nachbleibens der Uhr, was von dem Uhrmacher in der Regel wohl als „tägliche Gangabweichung", gelegentlich aber auch als „Gangdifferenz" bezeichnet wird. Die „Gangdifferenz" im wissenschaftlichen Sinne und in Anwendung bei der Präzisionsreglage ist aber die Differenz zwischen zwei Uhrgängen.

richtige Zeit zwar ebenfalls bei seiner Normaluhr, die ihm zu Vergleichszwecken für die zu reguli renden Uhren dient; aber bei den Uhren, die reguliert werden sollen, kommt es dem Regleur in erst Linie auf den täglichen Gang der Uhr an, weil von der Größe des Ganges das Maß der Korrekt am Pendel oder an der Unruh bzw. an der Spiralfeder abhängig ist. Mit Rücksicht auf dies praktischen Bedürfnisse hat sich bei den Regleuren der Brauch herausgebildet, den Uhrgang bei Vorgehen der Uhr mit + und beim Nachbleiben der Uhr mit — zu bezeichnen, weil eben „Plus einer Zunahme und „Minus" einer Abnahme entspricht.

Durch diese verschiedenartige Anwendung des Vorzeichens seitens der verschiedenen Uhren interessenten entstehen nun leicht Irrtümer, oder es muß in vielen Einzelfällen erst festgestell werden, was eigentlich gemeint ist. Alle Versuche, zu einer einheitlichen Schreibweise zu kommen sind bisher gescheitert, weil jede Partei an der ihren eigenen Notwendigkeiten entsprechende Schreibweise festhält. Im übrigen läßt sich auch nicht beweisen, daß die eine Schreibweise al gemein richtiger als die andere ist. Vor Jahren schon ist der Vorschlag gemacht worden, dadurc einen Ausweg zu schaffen, daß das Vorzeichen in Verbindung mit Uhrgängen bei Schreibung vo dem Uhrgang nur dem wirklichen mathematischen Sinn entsprechen sollte, also dem bisherige Brauch der Wissenschaftler, während die entgegengesetzte Bedeutung der Plus- und Minuszeiche im bisherigen Gebrauch der Regleure durch Schreibung der Zeichen hinter dem Uhrgang zum Aus druck gebracht werden solle, was auch am besten dem Wortsinne entspricht. Eine einheitlich Durchführung dieser Methode ist nicht festzustellen gewesen. Nachdem die Frage durch Beratunge in der Schweiz neu aufgerollt worden ist, wurde von unserem Mitglied Georg F. Bley der Antra gestellt, für eine Schreibweise im vorstehenden Sinne einzutreten. Die Frage ist den Ausschüsse unserer Gesellschaft vorgelegt worden. Sämtliche beteiligten Ausschüsse haben sich nunmehr fü folgende Formulierung entschieden:

„Das Plus- oder Minuszeichen vor der Zahl, die die Uhrkorrektion oder den Uhrgang aus drückt, ist stets als algebraisches Vorzeichen aufzufassen. Diese Schreibweise entspricht dem Brauc der Wissenschaftler. Die Plus- oder Minuszeichen hinter der Zahl, die den Uhrstand oder den Uhr gang ausdrücken, haben stets die Bedeutung, die ihnen bisher von den Praktikern beigelegt wurde Ein Pluszeichen hinter der Zahl deutet also ein Vorgehen der Uhr um den entsprechenden Betrag an, ein Minuszeichen ein Nachgehen. Gangscheine sind ausschließlich nach der ersten Method auszufertigen."

Wir werden diese Entscheidung der Ausschüsse der nächsten Mitgliederversammlung zur Abstimmung vorlegen.

Gesellschaft für Zeitmeßkunde und Uhrentechnik E. V.

---

## Ferienkurs in Jena.

Im Zoologischen Institut der Universität Jena (Schillergäßchen) findet vom 26. März bis 1. April 1930 der IX. Ferienkurs in Spektroskopie, Interferometrie und Refraktometrie statt, veranstaltet von Prof. Dr. P. Hirsch, Oberursel i. T. und Dr. F. Löwe, Jena. Anmeldungen wollen bis spätestens 22. März an Herrn A. Kramer, Jena, Schützenstraße 72, gerichtet werden, der auf Wunsch Privatwohnungen (meist Studentenzimmer) nachweist oder über Hotels und Gasthöfe Auskunft erteilt. Die Teilnehmerzahl ist auf 50 beschränkt. Die Teilnehmergebühr beträgt RM 50.—, für Angehörige deutscher und österreichischer Hochschulen RM 30.—.

---

Nachdruck verboten.

---

Verantwortlich für die Redaktion: Oberregierungsrat Professor Dr. F. Göpel in Charlottenburg.
Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig

# Zeitschrift für Instrumentenkunde.

*Kuratorium:*

Prof. Dr. **E. Kohlschütter** in Potsdam, Vorsitzender, Prof. Dr. **R. Straubel** in Jena, Prof. Dr. **F. Weidert** in Berlin-Zehlendorf, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat i. R. Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

50. Jahrgang. **April 1930.** Viertes Heft.

# Die Tätigkeit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt im Jahre 1929[1].

## Allgemeines.

Regierungsrat und Mitglied Dr. Fischer wurde infolge Erreichung der Altersgrenze mit Ablauf des Monats Januar 1930 in den dauernden Ruhestand versetzt.

Regierungsrat und Mitglied Dr. Bothe ist zum nichtbeamteten a. o. Professor an der Universität Berlin ernannt worden.

Regierungsrat und Mitglied Dr. Engelhardt ist seit dem 1. Oktober 1929 im Reichsministerium des Innern aushilfsweise tätig.

Die Reichsanstalt war beteiligt an folgenden internationalen Versammlungen:

1. an den Sitzungen des Internationalen Komitees für Gewichte und Maße vom 2. bis 20. Juni 1929 in Paris (Kösters);

2. an der Tagung der internationalen Dampftafel-Konferenz vom 8. bis 13. Juli 1929 in London (Jakob);

3. an der Tagung der *International Electrotechnical Commission* am 6. und 7. November in Berlin (v. Steinwehr, Schmidt).

Für den projektierten Bau eines neuen Hochspannungslaboratoriums fand eine Besichtigung ähnlicher Einrichtungen an den Hochschulen in Dresden, Freiberg und Darmstadt statt. Ferner wurden das *Laboratoire Ampère* der *Compagnie Générale Electrocéramique* in Paris und die hauptsächlichsten Hochspannungsanlagen in den Vereinigten Staaten von Amerika besichtigt (R. Vieweg).

## Präsidialabteilung.

### 1. Laboratorium des Präsidenten.

*1. Bogenspektrum von Stickstoff*[2].

Eine schwache Funkenentladung nach Merton und Pilley durch Helium, dem etwas Stickstoff beigemischt ist, ergab im Schumann-Gebiet Serien, welche die beiden Dublett-Grundterme $(2\,p)^3\,{}^2D$ und $(2\,p)^3\,{}^2P$ als Grenze haben. Diese Terme konnten daraus genauer bestimmt werden, als sie nach K. T. Compton und J. C. Boyce bekannt sind. Es ergaben sich die Werte:

$(2\,p)^3\,{}^4S = 117\,345$ (nach Hopfield) $\quad (2\,p)^3\,{}^2D_3 = 98\,122$

$(2\,p)^3\,{}^2P = 88\,506 \quad (2\,p)^3\,{}^2D_2 = 98\,115$

Intersystem-Kombinationen bestätigen diese auf $\pm 3$ genauen Zahlen, welche dem Term $(2\,p)^2\,{}^3P_2$ von N II als Grenze (Nullpunkt) zugeordnet sind.

*2. Spektrum Hg II*[3] *und Zn II, Cd II*[4].

Eine Reihe von Termen sind gefunden, welche in Analogie mit Cu I mit dem Heraustreten eines $d$-Elektrons aus der Zehnerschale zu erwarten sind (am vollständigsten bei Hg II). Im negativen Glimmlicht des Heliums, dem Cd-Dampf beigemischt ist, wird je ein höheres Glied in mehreren Serien von Cd II verstärkt. Dies wird auf die Anregung des Helium-Ions $He^+$ zurückgeführt, dessen Neutralisations-Energie gerade der betreffenden Anregungsenergie gleich ist. Die Anregungsmöglichkeiten in der negativen Glimmschicht des Heliums werden diskutiert.

[1] Auszug aus dem an das Kuratorium der Reichsanstalt im März 1930 erstatteten Bericht.
[2] Hopfield, Paschen, Eckefors. [3] Naudé. [4] Takahashi.

*3. Spektra des Heliums*[1]. Die von Lyman entdeckten Serien des Heliums und des Wasserstoffes werden mit Vakuumgitter-Spektograph scharf und mit vielen Gliedern photographiert, wobei das negative Glimmlicht in einer Zylinderkathode die Lichtquelle bildet. Die Linien von H und He II werden mit Berücksichtigung der Relativität berechnet. Gegen diese Normalen werden die Linien von He I gemessen.

Es ergibt sich für He I $1\,{}'S_0 = 198307 \cdot 9$ entsprechend dem Ionisationspotential von $24 \cdot 4764$ V.

Die Intersystem-Kombination $1\,{}'S_0 - 2\,{}^3P_1$, welche von Lyman vermutet war, wird bestätigt:

$$\text{berechnet } \nu = 169084{,}0 \quad \lambda = 591{,}422 \text{ Å-E., beob. } 591{,}420 \text{ Å-E.}$$

Die weiter von Lyman vermutete Kombination $1\,{}'S_0 - 2\,{}'S_0$ wird nicht gefunden.

*4. Versilberung*[2]. Das Verfahren zur Versilberung von Etalonplatten durch Verdampfen wurde ausgebaut und es gelang, mechanisch und optisch hochwertige Versilberungen von großer Haltbarkeit zu erzielen.

*5. Elektrischer Vakuumofen*[2]. Es wurden Untersuchungen am Schülerschen Vakuumofen aufgenommen und ein Verfahren entwickelt, Spektren schwer flüchtiger Substanzen von kleinen Spannungen an durch Elektronenstoß lichtstark anzuregen. Das eigentliche Heizrohr umschließt eine zylindrische, isoliert angebrachte Kohlekathode, in der konzentrisch die stabförmige Anode sitzt.

*6. Hyperfeinstrukturen*[3]. Die Linien der Ofenspektren zeigen große Schärfe, und es wurden Hyperfeinstrukturen untersucht, u. a. besonders an Kupferlinien. Die bisherigen Resultate sind veröffentlicht. (Anhang, Nr. 48). Es wurde am Ofen die sechsfache Struktur auch von Praseodym-Bogenlinien festgestellt. Weitere Untersuchungen über Hyperfeinstrukturen geschahen mit Hilfe des Schülerschen Entladungsrohres, bei dem die Spektren in einer Hohlkathode angeregt werden, die außen von flüssiger Luft umspült wird. Es ist eine Arbeit über Mangan im Gange, dessen Kernmoment zu $^5/_2$ bestimmt werden konnte.

*7. Bogenspektrum des Kryptons und Xenons*[4]. Es wurde das Bogenspektrum des Kryptons mit dem großen Rowlandschen Gitter photographiert und ausgemessen. Dabei konnten mit Hilfe konstanter Schwingungsdifferenzen Serien gefunden werden, durch welche nach Paschens Bezeichnung $4\,s$ und $9\,p$ Folgen der $10\,p$-Terme bestimmt wurden. Durch Kombinationen dieser Terme lassen sich viele Linien des Spektrums deuten (Anhang, Nr. 34). In analoger Weise wie beim Krypton wurde zuletzt das Spektrum des Xenons untersucht. Dabei konnten entsprechende Serien und Terme wie beim Krypton gefunden werden.

## 2. Laboratorium für Radioaktivität.

*8. Prüfungen radioaktiver Präparate*[5]. Die Zahl der Prüfungsanträge zeigt wiederum eine starke Zunahme. Es gingen ein 363 (248)[6] Radium- und 17 (5) Mesothorpräparate. Der Gesamtgehalt dieser Präparate war äquivalent 4533 (4513) mg Radium-Element. In 2 Fällen wurden die Präparate auf Antrag auch nach der im Laboratorium ausgearbeiteten Absorptionsmethode auf Mesothorgehalt geprüft.

An schwach radioaktiven Präparaten und Materialien gingen ein: 8 Erze und Erzrückstände, 1 radioaktives Quellwasser, 3 Kompressen, 12 Emanatoren, 7 pharmazeutische und ähnliche Präparate. 53 Radium-Normallösungen wurden abgegeben.

*9. Automatische Koinzidenzzählung*[7]. Es wurde eine Anordnung ausgearbeitet, welche ohne Registrierung unmittelbar die Koinzidenzen zwischen den Ausschlägen zweier Geigerscher Zähler anzeigt und automatisch summiert (Anhang, Nr. 30).

*10. Atomzertrümmerung*[8]. Die Zählmethode von Geiger und Klemperer wurde durch Verwendung wasserstoffgefüllter Zähler und Verbesserung des Verstärkers weiter ausgebildet. Zertrümmerungsversuche wurden an Aluminium und Bor begonnen. Beim Aluminium führten sie wegen der überraschend großen Inhomogenität der H-Strahlen bisher noch nicht zu quantitativen Ergebnissen, bestätigen jedoch das frühere Resultat (s. vorjähr. Tätigkeitsber.), daß die Ausbeuteangaben der Wiener Forscher zu hoch sind. Beim Bor ergab sich, daß weit mehr Atomtrümmer nach vorn als nach hinten ausgesandt werden. Ferner sprechen verschiedene Anzeichen auch hier wieder dafür, daß beim Bor zwei Gruppen von H-Teilchen mit verschiedener Maximalreichweite auftreten.

---

[1] Paschen, Kruger.
[2] Ritschl. [3] Ritschl, White. [4] Gremmer. [5] Bothe, Fränz.
[6] Die eingeklammerten Zahlen beziehen sich auf das Vorjahr.
[7] Bothe. [8] Fränz.

Die Untersuchung der Höhenstrahlung nach der Koinzidenzmethode (s. vorjähr. Tätigkeitsber.) wurde fortgesetzt mit dem Ergebnis, daß die früher gefundene durchdringende Korpuskularstrahlung identisch mit der Höhenstrahlung ist, und nicht als Sekundärstrahlung einer $\gamma$-artigen Höhenstrahlung aufzufassen ist (Anhang, Nr. 31). *11. Natur der Höhenstrahlung*[1].

Die sich ergebende Frage nach einem etwaigen Einfluß des erdmagnetischen Feldes auf die geographische Verteilung der Höhenstrahlung soll im Sommer dieses Jahres gelegentlich einer Nordlandexpedition geprüft werden.

Die Preuß. Bergwerks- und Hütten-A.G. ermöglichte durch ihr bereitwilliges Entgegenkommen die Ausführung einiger Hilfsversuche im Staßfurter Steinsalz.

Das Verhalten hochempfindlicher Strahlungsgeräte wurde weiter untersucht sowie mit dem Bau von Ionisationsgefäßen für Überdruck begonnen. Das Verhalten Geiger-Müllerscher Zählrohre und die Röhrenverstärkung der Ausschläge wurde studiert. Die verschiedenen Methoden zur Messung der Kapazität von Strahlungsapparaten (Stromeichung, Ladungsteilung in verschiedener Ausführung) wurden miteinander verglichen. Die Bestimmung kleiner Kapazitäten auf $\pm 1\%$ ist jetzt möglich. *12. Höhenstrahlungsgeräte*[2].

Untersuchungen an einer sehr großen Menge Gold ergaben, daß Barrengold (99,96%) frei von $\gamma$-Strahlung ist. Bei Absorptionsmessungen im Gold konnte der Einfluß des Luftdruckes auf die Höhenstrahlung gut verfolgt werden.

### 3. Chemisches Laboratorium.

Die Untersuchung der chemischen und physikalischen Eigenschaften des Rheniums wurde mit Unterstützung der Notgemeinschaft der deutschen Wissenschaft fortgesetzt. Eine größere Menge Rhenium wurde rein dargestellt. Das Metall wurde gesintert, geschmolzen und zu Drähten und Stäben verarbeitet. Die Dichte des Rheniums, seine Kristallstruktur, seine spezifische Wärme und seine elektrische Leitfähigkeit bei verschiedenen Temperaturen wurden gemessen. Eine Anzahl neuer Verbindungen des Rheniums wurden dargestellt und analysiert. *13. Rhenium*[3].

Mit Unterstützung der Notgemeinschaft wurde eine geologische Studienreise nach Nord-Norwegen, Schweden, Finnland und Rußland unternommen, um neue Rhenium- und Masurium-haltige Mineralien zu finden.

Etwa 100 Mineralien wurden chemisch und röntgenspektroskopisch auf ihren Rheniumgehalt untersucht.

Auf Antrag verschiedener Firmen wurde der Rheniumgehalt von technischen Produkten festgestellt. Es zeigte sich dabei, daß der Rheniumgehalt in einigen dieser Stoffe so groß ist, daß darauf eine Fabrikation zur technischen Gewinnung von Rhenium eröffnet werden kann. Diese Fabrikation ist bereits im Betrieb und hat bisher mehrere 100 g reiner Rheniumverbindungen geliefert. Etwa 100 g eines Rheniummetall wurden für die Firma Siemens & Halske hergestellt.

Die Versuche zur Anreicherung des Masuriums wurden fortgesetzt.

Im Anschluß an die Arbeiten über die geochemische Verteilung des Rheniums in irdischen Mineralien und in Meteoriten wurden zahlreiche bisher unbekannte Vorkommen anderer chemischer Elemente aufgefunden.

Durch Schmelzversuche wurden die Verteilungskoeffizienten der meisten chemischen Elemente zwischen Silikat-, Sulfid- und Nickeleisensphäre bestimmt. Hieraus wurde im Zusammenhang mit den fast 2000 bisher von uns ausgeführten Analysen von irdischen Mineralien und Meteoriten die ungefähre absolute Häufigkeit der Elemente auf der Erde ermittelt.

In Ergänzung früherer Beobachtungen über Nickelmetall verschiedener Reinigungsstufen wurde versucht, die Sprödigkeit solcher Objekte auf die oxydischen Reste zurückzuführen, welche bei der Auflösung in sehr verdünnter Salpetersäure zurückbleiben. *14. Nickel*[4].

Nach der Myliusschen Extraktionsmethode bei 80° und bei 98/100° wurden 22 Hohlglassorten amtlich geprüft, ferner 2 Sorten Tafelglas nach der Methode von Keppeler (Hannover). Auf *15. Prüfungen*[5].

---

[1] Bothe, Kolhörster. [2] Kolhörster.
[3] W. Noddack und I. Noddack als Gast. [4] Mylius als Gast. [5] Tepohl.

„Natürliche Alkalität" und „Verwitterungs-Alkalität" wurden 6 Sorten optisches Glas nach der Eosin-Methode geprüft.

Es wurden 6 Sorten Deckgläser mangels genügend großer Extraktionsflächen nach den früher hier ausgearbeiteten Grieß-Methoden untersucht, ferner ebenso 5 Sorten von Apparateglas zur Feststellung des Einflusses der Kühlung auf die Oberflächen-Alkalität des Glases.

*16. Fensterglas*[1]. Die Untersuchungen über die Prüfungsmethoden von Fensterglas und anderen dünnen Flachgläsern, für die die Eosin-Methode an Bruchflächen nicht möglich ist, sind noch nicht abgeschlossen.

*17. Medizinflaschen*[1]. Die bereits im Tätigkeitsbericht über das Jahr 1927 erwähnte Neubearbeitung der Prüfungsvorschriften im D.A.B. VI für Ampullen und Medizinflaschen wurde fortgesetzt. Hierzu wurden mehrere hundert Flaschen, die von 5 Firmen zur Verfügung gestellt waren, nach der Extraktionsprobe und nach der Narkotinhydrochlorid-Probe untersucht. Es fanden mehrere Sitzungen der Kommission statt, die dann im November 1929 in Zusammenarbeit mit Vertretern der Flaschen-Industrie diese Arbeit zum Abschluß brachte.

## 4. Laboratorium für Feinmechanik und Akustik[2].

*18. Prüfungstätigkeit.* Die Prüfungstätigkeit des Laboratoriums geht aus folgender Übersicht hervor:

| | |
|---|---|
| Leitspindeln 34 (73), | Kaliber-Bolzen und -Ringe 20 (15), |
| Zyl. Normalgewinde 28 (18), | Rachenlehren 9 (7), |
| Kon. Normalgewinde 3 (3), | Mikrometer 2 (0), |
| Normalwinkel 1 (0), | Stimmgabeln 85 (135), |
| Morsekegel 1 (6), | davon Kammerton-Gabeln 21 (103), |

Messungen für die Reichsanstalt 4 (4).

*19. Prüfung zylindrischer Normalgewinde.* Das Meßgerät für zylindrische Gewinde ist im Berichtsjahr umgebaut und erheblich verbessert worden. Zahlreiche Probemessungen ergaben eine wesentlich erhöhte Messungsgenauigkeit gegenüber der ursprünglichen Bauart. Es zeigte sich namentlich, daß bei der Bestimmung von Flankendurchmessern die Schneiden-Methode und die Dreidraht-Methode in günstigster Übereinstimmung standen.

Eine eingehende Beschreibung des Gerätes, dessen Herstellung für die Industrie die Präzisionswerkzeugfabrik Alig & Baumgärtel in Aschaffenburg übernommen hat, ist veröffentlicht. (Anh., Nr. 33.)

*20. Prüfung konischer Normalgewinde.* Über die Einrichtungen und Verfahren zur Prüfung konischer Röhrengewinde ist dem Röhrenverband G. m. b. H. ein ausführlicher Schlußbericht erstattet worden. Er ist inzwischen veröffentlicht worden (Anh., Nr. 32). Eine vom Röhrenverband veranlaßte englische Übersetzung des Berichts wurde dem American Petroleum Institute zur Stellungnahme übersandt.

*21. Veränderlichkeit von Normalwinkeln bei Erwärmung.* Bei früheren Messungen von Anschlagwinkeln wurde in Übereinstimmung mit der Werkstattserfahrung beobachtet, daß dieselben bei Temperaturschwankungen ihren Winkelwert ändern. Die s. Z. bei $+ 20^0$ und $+ 40^0$ ausgeführten Messungen ergaben bei drei derart untersuchten Winkeln Änderungen von $+ 20''$, $+ 19''$ und $+ 31''$, also im gleichen Sinne. Rückkehr auf Zimmertemperatur ergab die früheren Werte. Da nun die Vermutung nahelag, daß die Ursache dieser Erscheinung in ungleicher Ausdehnung des Materials, je nachdem dieses in Walzrichtung oder senkrecht dazu verarbeitet wurde, zu suchen sei, so wurden erstmalig Ausdehnungsbestimmungen an Stäben von Stahl und Messing beider Walzrichtungen vorgenommen (s. Tabelle).

Tabelle.

| $\Delta t$ | Ausdehnungskoeffizient von Messing | | Ausdehnungskoeffizient von Stahl | |
|---|---|---|---|---|
| | in Walzrichtung | senkrecht dazu | in Walzrichtung | senkrecht dazu |
| $0^0-25^0$ | $0,0_4\,222$ | $0,0_4\,201$ | $0,0_4\,129$ | $0,0_4\,126$ |
| $25^0-50^0$ | 212 | 202 | 132 | 129 |
| $50^0-75^0$ | 199 | 203 | 132 | 131 |

[1] Tepohl. [2] Göpel, Werner, Conrat.

Aus den Werten der Tabelle ist deutlich ein Einfluß der Walzrichtung auf die thermische Ausdehnung zu erkennen, der aber, wenigstens bei Stahl, nicht ausreicht, um die beobachtete Erscheinung zu erklären.

*22. Prüfung und Beglaubigung von Stimmgabeln.*

Die Zahl der zur Prüfung und Beglaubigung eingegangenen Stimmgabeln hat im Berichtsjahr abgenommen. Einzelne Prüfungsanträge nahmen dafür verhältnismäßig mehr Zeit in Anspruch, so für das Staatstheater in Schwerin die nur selten beantragte Beglaubigung einer Präzisions-$a'$-Gabel; für die Firma Siemens & Halske die möglichst genaue Abgleichung einer Bronzegabel als Normal für ihre Oszillographengabeln zu 50 Perioden, sowie die Abstimmung einer Gabel auf 2387,3 Perioden (Frequenz 15000).

*23. Schaffung neuer Stimmgabel-Normale.*

Die Schaffung neuer Normale für verschiedene Tonhöhen und die Nachprüfung bereits vorhandener Normale wurde fortgesetzt. Während übrigens früher nur die tiefsten Stimmgabeln mit Hilfe des phonischen Rades absolut bestimmt, die übrigen Normale auf graphischem Wege mit bereits vorhandenen verglichen, letzten Endes an das 1889 absolut bestimmte Normal König für 435 Schwingungen angeschlossen wurden, werden seit 1925 auch die höchsten Normale absolut bestimmt. Versuchsweise ist eine Anzahl von neuen Normalen zur Erleichterung der Temperaturbestimmung mit einer Bohrung im Sattel versehen worden, die zur Einführung eines Thermometers während der Messung dient; ein ungünstiger Einfluß auf die Ausbildung des Tones ist dabei nicht hervorgetreten.

Es wurde damit begonnen, eine in vorstehender Weise hergerichtete Stimmgabel, die sowohl mit Normal König als mit den sog. Differenzgabeln Schwebungen gibt, bei verschiedenen Temperaturen zu bestimmen, um sie zur Kontrolle der Schwingungszahlen dieser Gabeln zu verwenden.

*24. Beeinflussung der Schwingungszahl von Stimmgabeln durch Temperung.*

Messungen über die Beeinflussung der Schwingungszahl durch die mit dem Blauanlassen der $a'$-Gabeln verbundene Temperung ergaben bei 29 Handgabeln eine Zunahme um durchschnittlich 0,07 Schwingungen (gegenüber einer Änderung in gleichem Sinne um 0,02 Schwingungen bei Beobachtungen im Jahre 1889).

*25. Untersuchung rostfreier Stähle.*

Um ihre Eignung als Material für Normalstimmgabeln festzustellen, wurde an einer Reihe rostfreier Stähle von Friedr. Krupp-Essen die Abhängigkeit der Elastizitätsmoduln von der Temperatur bestimmt. Die Messungen werden fortgesetzt.

## 5. Photochemisches Laboratorium.

*26. Energieumsatz bei der Zersetzung des Bromsilbers[1].*

Die Arbeiten über den Energieumsatz bei der Zersetzung des Bromsilbers unter dem Einfluß verschiedener Strahlenarten wurden fortgesetzt. Dabei ließ sich der frühere Befund, daß bei Röntgenstrahlen von $\lambda \sim 0{,}5$ Å.-E. ein kV ein Bromsilberkorn entwickelbar macht, reproduzieren und erweitern.

*27. Abhängigkeit der Gestalt der photographischen Schwärzungskurve von der Emulsionsart[2].*

Die Abhängigkeit der Gestalt der photographischen Schwärzungskurve von der Emulsionsart wurde studiert mit dem Ziele, Emulsionen herzustellen, die extrem steile Schwärzungskurven besitzen.

*28. Photobromierung des Benzols[3].*

Die Arbeit über die Photobromierung des Benzols wurde abgeschlossen. Die als Folge der Lichtreaktion auftretende Kettenreaktion zeigt Ähnlichkeit mit der bei der Bromwasserstoffbildung auftretenden Kette.

*29. Gelbfilter[3].*

Für die Firma Voigtländer wurden an 35 Plattentypen die Verlängerungsfaktoren zweier Gelbfilter bestimmt.

*30. Empfindlichkeit des menschlichen Auges[4].*

Eine früher begonnene Arbeit über die Empfindlichkeit des menschlichen Auges bei Grau- und Farbensehen wurde wieder aufgenommen.

*31. Chemismus der Kohlensäureassimilation[5].*

Die Untersuchungen über den Chemismus der Kohlensäureassimilation wurden fortgesetzt. Die Isolierung der Zwischenprodukte wurde in Angriff genommen.

*32. Röntgenspektroskopie[6].*

In der $K$-Serie verschiedener Elemente wurden einige bisher unbekannte Linien gefunden. Die $\lambda$-Werte dieser Linien sind z. T. abhängig von der chemischen Bindung des Elements.

---

[1] W. Noddack. [2] W. Noddack und Tollert a. Gast. [3] Meidinger.
[4] W. Noddack, Meidinger. [5] W. Noddack und A. Sämisch a. Gast. [6] Beuthe.

*33. Röntgenspektroskopische Analyse*[1]. Für I. G. Farbenindustrie, Siemens & Halske, Auergesellschaft, Heraeus und andere Firmen, sowie für einige Abteilungen der Reichsanstalt wurden etwa 100 Proben von Metallen, Legierungen und Verbindungen röntgenspektroskopisch auf ihre Zusammensetzung untersucht.

*34. L-Serie des Protactiniums*[2]. Die $L$-Serie des reinen Protactiniums wurde aufgenommen und ausgemessen.

*35. Photolyse der Lösungen von Schwefelwasserstoff in Hexan und in Wasser*[3]. Schwefelwasserstoff wird durch Strahlung in Wasserstoff und Schwefel gespalten, die gespaltenen Mol bestimmte man nach dem Vorgang von Otto Warburg manometrisch aus der Druckzunahme im Gasraum über der Lösung infolge des Wasserstoffs, welcher aus dem gespaltenen Schwefelwasserstoff in den Gasraum gelangt. Wenn jede beanspruchte oder „quantierte" Schwefelwasserstoffmolekel zerfällt, so gilt das Äquivalentgesetz, es sind dann für eine vom Schwefelwasserstoff absorbierte g-cal die zersetzten Mol Schwefelwasserstoff ($\Phi$) gleich den beanspruchten oder quantierten Mol ($p$), also $\Phi = p$. In der Tat lieferte der Versuch für Lösungen von Schwefelwasserstoff in Hexan $\Phi = p$, wobei unter der Annahme, daß sich außer dem Schwefelwasserstoff kein Stoff in der Lösung befindet, die von der Lösung absorbierte Strahlung abzüglich der im Lösungsmittel verbleibenden gleich der vom Schwefelwasserstoff absorbierten gesetzt wurde. Unter dieser Annahme lieferte aber der Versuch für wäßrige Lösungen von Schwefelwasserstoff $\Phi$ nur gleich $0{,}2 - 0{,}4 \cdot p$. Dieses Verhalten läßt sich erklären durch die Annahme, daß zwischen Schwefelwasserstoff und Wasser eine Reaktion stattfindet; es befinden sich dann in der Lösung außer dem Schwefelwasserstoff die Produkte dieser Reaktion, und sofern auch diese Produkte Strahlung absorbieren, ohne dabei photolysiert zu werden, findet man unter der obigen Annahme die vom Schwefelwasserstoff absorbierte Strahlung zu groß, also $\Phi$ zu klein. Da man aber die Absorption der Reaktionsprodukte nicht kennt, so kann man eine bestimmte Angabe über den wirklichen Vorgang nicht machen, auch die Absorption des Schwefelwasserstoffs nicht ermitteln, also die chemische Wirkung aus der Energie der einfallenden Strahlung nicht berechnen, die Quantentheorie führt hier nicht zum Ziel. Diese Ergebnisse dürften dahin zu verallgemeinern sein, daß die Lösungen von Photolyten in zwei Klassen zerfallen, je nachdem zwischen dem Photolyten und dem Lösungsmittel eine Reaktion stattfindet, wie beim Wasser, oder nicht, wie beim Hexan, nur im letzteren Fall führt die Quantentheorie zum Ziel. Die Untersuchung ist veröffentlicht (Anhang, Nr. 51).

## 6. Kältelaboratorium und Laboratorium für elektrische Atomforschung[4].

*36. Allgemeines.* Als wissenschaftliche Gäste arbeiteten im Kältelaboratorium: Professor Polanyi vom Kaiser Wilhelm-Institut für Elektrochemie sowie Dr. Schmid und Dr. Boas vom Kaiser Wilhelm-Institut für Metallforschung über die Plastizität von Metallkristallen, Dr. Holm und Dr. Masing vom Forschungslaboratorium der Siemens-Werke zusammen mit Oberregierungsrat Meißner über Übergangswiderstände zwischen metallischen Kontakten, Herr Dr. Seemann vom Physikalischen Institut Greifswald über die elektrische Leitfähigkeit von Gold-Kupferlegierungen. Ferner wurden an eine größere Zahl von anderen Forschern für ihre in ihren Instituten ausgeführten Arbeiten flüssiger Wasserstoff, insgesamt 332 Liter, zur Verfügung gestellt.

Diese Unterstützung von Gästen und auswärtigen Forschern wurde dadurch ermöglicht, daß die durch sie bedingten Mehrausgaben wiederum aus einem von der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft zur Verfügung gestellten Fonds bestritten wurden.

*37. Luftverflüssigung*[5]. Im Laufe des Jahres wurden 10300 l flüssiger Stickstoff sowie 52 l flüssiger Sauerstoff hergestellt, und zwar 7100 l für das Kältelaboratorium, der Rest für andere Laboratorien der Reichsanstalt.

*38. Wasserstoffverflüssigung*[5]. Es wurden im Berichtsjahr 1112 l flüssiger Wasserstoff hergestellt. Davon wurden verwendet: In anderen Laboratorien der Reichsanstalt: 28 l für Volumbestimmungen an kondensierten Gasen, 65 l für thermometrische Messungen, 19 l für Messungen über die Temperaturabhängigkeit der elastischen Konstanten fester Körper, 4 l für spektroskopische Messungen, 7 l für Messungen über Konden-

[1] Noddack und Beuthe. [2] Beuthe und v. Grosse a. Gast.

[3] Warburg und Rump als Gäste.

[4] Meißner, Voigt, Steiner, Adelsberger, Scheffers, Giloi.

[5] Meißner, Steiner, Giloi.

sation von Gasen aus der elektrischen Entladung in Wasserstoff; im Kältelaboratorium: 38 l für verschiedene Messungen, insbesondere für Messungen über den elektrischen Widerstand von Metallen, 551 l für Heliumverflüssigung sowie Helium-Neon-Trennung und Reinigung von Rohhelium; für Messungen der wissenschaftlichen Gäste 68 l. An andere wissenschaftliche Institute wurden 332 l flüssiger Wasserstoff abgegeben, und zwar erhielten: Professor Simon vom Physikalisch-Chemischen Institut der Universität Berlin 247 l für Messungen über spezifische Wärme, festes Helium und für Herstellung tiefster Temperaturen nach seiner Adsorptionsmethode, Professor Bonhoeffer vom Kaiser Wilhelm-Institut für physikalische Chemie 66 l für Messungen über Ortho- und Parawasserstoff, Professor Meitner vom Kaiser Wilhelm-Institut für Chemie 5 l für Versuche über die Ausbeute an Rückstoßatomen bei $\beta$-Strahlenzerfall, Professor Ramsauer vom Forschungsinstitut der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft 10 l für Messungen über den Wirkungsquerschnitt von Ortho- und Para-Wasserstoffmolekülen, Dr. Kallmann vom Kaiser Wilhelm-Institut für physikalische Chemie 4 l zum Ausfrieren von aktiviertem Stickstoff bei massenspektrographischen Untersuchungen.

*39. Metallene Vakuummantelflaschen für flüssigen Wasserstoff*[1].

Um Aufschluß darüber zu gewinnen, wie sich die Wärmezufuhr zum flüssigen Wasserstoff in den metallenen Vakuummantelflaschen auf Strahlung, Wärmeleitung im Metall und Leitung in den Gasresten verteilt, wurden diese verschiedenen Faktoren theoretisch behandelt, insbesondere auch die Abhängigkeit der Wärmezufuhr durch Strahlung vom Metall der Wandung. Der Vergleich mit dem experimentellen Befund (vgl. vorjährigen Bericht) zeigte, daß die Strahlung dreimal soviel ausmacht wie die Leitung, falls die innere Wandung aus Neusilber besteht, wie es früher der Fall war. Bei Versilberung der inneren Wandungen betragen die Verluste durch Strahlung höchstens die Hälfte derjenigen durch Wärmeleitung in der Wandung. Eine Veröffentlichung über die Untersuchungen ist im Druck. (*Zeitschr. f. Instrkde.*, ***50.*** *S. 121—141. 1930.*)

*40. Heliumbeschaffung*[2].

Durch Trennung von Neon-Helium-Gemisch, das die Linde-Gesellschaft zur Verfügung stellte, wurden 890 l Helium gewonnen. Das abgetrennte Neon, das weniger als 1 Volumprozent Helium enthielt, etwa 4200 l, wurde der Linde-Gesellschaft zurückgegeben. Durch Reinigung von Rohhelium, das die Auer-Gesellschaft aus Monazitsand herstellt, wurden 2580 l Helium gewonnen. Der vierte Teil dieses Reinheliums ist als Gegenleistung an die Auer-Gesellschaft zurückzugeben. 653 l hat sie bereits erhalten. Ferner wurden 10 m³ Rohhelium bei der amerikanischen Helium-Gesellschaft in Louisville bestellt, die jetzt für wissenschaftliche Zwecke mit Genehmigung des Präsidenten der Vereinigten Staaten Helium abgibt. Zur Zeit beträgt der Heliumvorrat des Kältelaboratoriums etwa 10100 l.

*41. Heliumverflüssigung*[3].

Es wurden Vorbereitungen getroffen, um das flüssige Helium aus dem Verflüssiger, in den die Versuchsapparate bis jetzt direkt eingebaut wurden, abhebern zu können, damit mehrere Forscher gleichzeitig mit flüssigem Helium arbeiten können.

*42. Spezifische Wärme des gasförmigen Heliums im Temperaturgebiet des flüssigen Heliums*[4].

Die Messungen nach der im vorjährigen Bericht geschilderten Methode wurden auf Temperaturen zwischen 6 und 2,7° abs. und auf Helium-Drucke bis unter 0,1 Atm ausgedehnt. Die Auswertung des gesamten Beobachtungsmaterials ist noch nicht abgeschlossen.

*43. Widerstand von Metallen in tiefen Temperaturen*[5].

Folgende Metalle wurden, zum Teil in mehreren Proben, zwischen 273° und 1,1 bis 1,3° abs. auf ihren Widerstand hin untersucht: Lithium, Natrium, Kalium, Rubidium, Caesium, — Calcium, Strontium, Barium, Quecksilber, — Bor, Gallium, Indium, Thallium, — Silicium, Titan, Germanium, Zirkonium, Cer, Thorium, — Vanadium, Arsen, Wismut, — Chrom, Selen, Uran, — Mangan, Rhenium, — Ruthenium. Ferner wurden weitere, meist reinere Proben folgender schon früher untersuchter Metalle geprüft: Aluminium, Beryllium, Eisen, Magnesium, Kobalt, Molybdän, Palladium, Rhodium, Tantal, Tellur, Wolfram, Antimon, Graphit. Aus den Meßresultaten wurden die Widerstandswerte für ideal reine Metalle und soweit möglich die charakteristischen Temperaturen der Metalle, letztere mit Hilfe der Grüneisenschen Widerstandsformel, abgeleitet. Die Veröffentlichung der Resultate wird vorbereitet.

---

[1] Meißner, Voigt. [2] Meißner, Steiner, Giloi. [3] Meißner, Steiner, Giloi.
[4] Meißner. [5] Meißner, Voigt.

*44. Neue Supraleiter*[1]. Von den vorstehend aufgeführten Metallen wurde Thorium bei 1,4° abs. supraleitend. (Anhang 1, Nr. 39.) Die Übergangskurve zur Supraleitfähigkeit wurde aufgenommen. Auch für Titan konnte die Übergangskurve zur Supraleitfähigkeit bei etwa 1,1° abs. erreicht werden, wobei der Widerstand auf weniger als 0,01 von dem Wert vor Beginn des Widerstandsabfalls sank. Bis zur vollkommenen Supraleitfähigkeit, die nach dem Charakter der Übergangskurve zweifellos etwas unterhalb 1,1° abs. eintreten wird, konnte die Temperatur nicht gesenkt werden. Die untersuchten Thorium- und Titanproben waren Einkristalle, die Herr Dr. van de Boer von der Gesellschaft Philips zur Verfügung gestellt hatte. Auch bei einigen anderen Metallen, z. B. bei Vanadium, konnten bei 1,1° abs. Andeutungen zum Widerstandsabfall beobachtet werden, die Supraleitfähigkeit in etwas tieferen Temperaturen vermuten lassen.

Ferner wurde Supraleitfähigkeit an einem Kupfersulfiddraht festgestellt, den Dr. Fischbeck (Tübingen) für die Messungen übersandt hatte und der nach seiner Analyse aus reinem CuS bestand. Der Sprungpunkt des CuS liegt bei etwa 1,6° abs. Die Übergangskurve zur Supraleitfähigkeit wurde aufgenommen (Anhang, Nr. 38).

Es erscheint zur Zeit nicht ausgeschlossen, daß entgegen der früheren Anschauung alle Metalle bei genügender Temperaturerniedrigung supraleitend werden.

*45. Versuche über das Wesen der Supraleitfähigkeit*[2]. Es wurden Versuche in die Wege geleitet, das Verhalten von langsamen Elektronen, die auf eine Zinnfolie auftreffen, dicht oberhalb und unterhalb des Widerstandssprungpunktes zu untersuchen.

*46. Änderung der elektrischen Leitfähigkeit im Magnetfeld*[3]. Zur weiteren Verfolgung der Resultate, die Kapitza über die Änderung der elektrischen Leitfähigkeit in starken Magnetfeldern erhalten hat, wurden Widerstandsmessungen an zwei sehr reinen Goldeinkristallen und an einem gezogenen Golddraht bei Temperaturen zwischen 1,3° und 78° abs. und magnetischen Feldern bis zu 13000 Gauß durchgeführt. Sie ergaben, daß die Krümmung der Kurve für die Widerstandsänderung in Abhängigkeit vom Magnetfeld bei kleinen Feldstärken, entgegen der Annahme Kapitzas, auch bei den reinsten Einkristallen bestehen bleibt und nicht auf derselben Ursache beruht, wie der temperaturunabhängige, durch Verunreinigungen usw. hervorgerufene Restwiderstand im flüssigen Helium. Bei hohen Feldstärken ist die Kurve eine Gerade und ihre Neigung nahezu temperaturunabhängig (Anhang, Nr. 37).

*47. Messungen an Atomstrahlen*[4]. Zur Bestimmung des magnetischen Moments des Lithiumatoms mit einer Genauigkeit von etwa 1% wurden Versuche mit einem Atomstrahlapparat gemacht, der sich von den sonst benutzten und in der Literatur beschriebenen Apparaten unterscheidet. Zum Beispiel ist die Heizvorrichtung für den mit der zu verdampfenden Substanz beschickten Ofen, die sich sonst im Innern des Apparates, also im Hochvakuum, befand, zur Vereinfachung der Handhabung nach außen verlegt. Es gelang, mit diesem Apparat Lithiumatomstrahlen herzustellen. Eine Methode zur genügend genauen Bestimmung des Magnetfeldes längs des Weges des Atomstrahls wurde ausgearbeitet. Schwierigkeiten bereitete die Messung der Temperatur des Lithiumdampfes beim Austritt aus dem Spalt, weswegen noch Abänderungen an der Apparatur vorgenommen werden mußten. Ferner ist die Entwicklung einer Methode zur einwandfreien Bestimmung der Aufspaltungsbreite im Gange. Meßresultate können noch nicht angegeben werden.

*48. Suszeptibilität von Gasen*[5]. An der Ausarbeitung einer neuen Methode zur Messung der Suszeptibilität der Gase wurde weiter gearbeitet und ein geeigneter Elektromagnet beschafft.

*49. Gleichspannungs-Verstärkung*[5]. Die nach dem vorjährigen Tätigkeitsbericht in Aussicht genommenen andersartigen Meßmethoden für die von der Kondensatormaschine erzeugten schwachen Wechselströme sind auf ihre Brauchbarkeit hin geprüft worden, besonders auch mit Rücksicht auf ihre Verwendung bei der Messung der Suszeptibilität der Gase. Durch höchsten Verstärkungsfaktor und große Unempfindlichkeit gegen äußere Störungen zeichnete sich das Überlagerungsverfahren aus (s. Abb. 1).

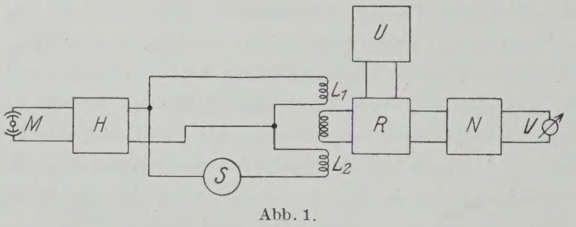


Abb. 1.

[1] Meißner. [2] Meißner, Steiner. [3] Meißner, Scheffers. [4] Meißner, Scheffers. [5] Meißner, Adelsberger.

Dem von der Kondensatormaschine *M* erzeugten und in einem Hochfrequenzverstärker *H* weiter verstärkten Wechselstrom von etwa 14000 Hertz wird durch einen Röhrensender *U* (*S* und $L_2$ ist zunächst wegzudenken) ein Wechselstrom nahe gleicher Frequenz überlagert, so daß man hinter einem Richtverstärker *R*, der eine Hälfte der Schwebungskurve unterdrückt, einen Wechselstrom von etwa der Frequenz 100 Hertz erhält, der nach weiterer Verstärkung in einem Niederfrequenzverstärker *N* durch ein Vibrationsgalvanometer *V* gemessen wird.

Will man, wie es bei der Kondensatormaschine der Fall ist, die wegen geringer unvermeidlicher Kontaktspannungen von vornherein eine Anfangs-Wechselspannung liefert, nicht eine sehr kleine Wechselspannung, sondern sehr kleine Änderungen einer etwas größeren Wechselspannung messen, so kann man folgendermaßen verfahren (Abb. 1): Auf den Richtverstärker *R* wirkt der Hochfrequenzverstärker *H* einerseits direkt ein durch Spule $L_1$, andererseits durch eine entgegengesetzt gerichtete Spule $L_2$ unter Zwischenschaltung einer Sperrverstärkerröhre *S*, die Wechselströme nur bis zu einer bestimmten Amplitude hindurchläßt. Es gelingt dann leicht, Amplitude und Phase der auf den Gleichrichter wirkenden, entgegengesetzt gerichteten Spannungen so zu regulieren, daß trotz einer am Eingang des Hochfrequenzverstärkers *H* vorhandenen Wechselspannung das Vibrationsgalvanometer *V* keinen Ausschlag zeigt, eine kleine Änderung der am Eingange angelegten Spannung dagegen einen Ausschlag hervorruft.

Beim Anlegen einer mit einem Röhrensender erzeugten sehr schwachen Wechselspannung von 14000 Hertz an den Hochfrequenzverstärker arbeitet die beschriebene Einrichtung einwandfrei und wird von äußeren Störungen nicht beeinflußt. Beim Zusammenbau mit der Kondensatormaschine ergaben sich noch Schwierigkeiten, die noch nicht völlig geklärt sind.

*50. Vibrationsgalvanometer im Kondensatorkreis*[1].

Bei der oben geschilderten Verwendung des Vibrationsgalvanometers in Verbindung mit der Kondensatormaschine ist es wünschenswert, eine möglichst große Unempfindlichkeit des Vibrationsgalvanometers gegenüber Frequenzänderungen zu haben, da die Höhe des Überlagerungstones durch Tourenschwankungen der Kondensatormaschine prozentual stark beeinflußt wird. Diese Unempfindlichkeit wurde durch Einschalten eines Kondensators in den Vibrationsgalvanometerkreis erreicht. Der aus dieser Vorschaltkapazität und der Selbstinduktion des Vibrationsgalvanometers gebildete Schwingungskreis wird dabei so abgestimmt, daß seine Eigenfrequenz nahe bei der Eigenfrequenz des Galvanometersystems liegt. Durch geeignete Wahl des Frequenzunterschiedes und der Dämpfung des elektrischen Kreises wurde es beispielsweise erreicht, daß der Ausschlag des Vibrationsgalvanometers innerhalb 1% konstant blieb, falls die Frequenz des auf den Galvanometerkreis wirkenden Stromes von 62 Hertz sich um 28% änderte. Allerdings wurde dies nur durch den Bau eines neuen Vibrationsgalvanometers möglich, da eine theoretische Behandlung des Gegenstandes zeigte, daß die Konstanten der vorhandenen Instrumente nicht geeignet waren.

Das neue Vibrationsgalvanometer, das ähnlich dem Wienschen gebaut ist, hat bei 62 Hertz ohne Kondensator eine Stromempfindlichkeit von 330 Millimeter pro $\mu$ A und eine Spannungsempfindlichkeit von 0,08 Millimeter pro $\mu$ V (Bildverbreiterung bei 1 m Skalenabstand). In dem oben gewählten Beispiel mit Kondensator ist die Spannungsempfindlichkeit etwa der 10. Teil hiervon.

## 7. Hauptwerkstatt[2].

*51. Allgemeines.*

Durch Anschaffung einer den Sonderbedürfnissen entsprechenden Hobelmaschine, zweier Mechanikerdrehbänke und einer kleineren Bohrmaschine konnte der Maschinenbestand weiter erneuert werden. Ein Teil der älteren Mechanikerbänke wurde mit elektrischem Einzelantrieb versehen, den sämtliche neueren Maschinen aufweisen. Außerdem wurden mit vorhandenen Mitteln notwendige und zweckmäßige Verbesserungen durchgeführt.

*52. Stempelungen.*

Stempelungs- und Gravierarbeiten wurden in annähernd gleichem Umfange wie im Vorjahr durchgeführt; sie betrafen: Stimmgabeln, magnetische Materialien, Hefnerlampen, Ionisationskammern, Pyrometer und andere Gegenstände.

---

[1] Meißner, Adelsberger. [2] Göpel, Keil.

*53. Herstellung von Apparaten usw.*

An größeren Arbeiten wurden u. a. vollendet:

1 Öldruckpresse für Drucke bis 7000 kg/cm$^2$,
Teile zu einem Vakuumspektrographen,
Gehäuse und Kassette zu einem weiteren Vakuumspektrographen,
1 Palminbad,
1 Stromstandard mit veränderlichem Plattenabstand,
1 Bett für kleines Flankenmeßgerät nach Göpel,
1 variabeler Stromstandard,
1 Läufer einer rotierenden Funkenstrecke — Neukonstruktion,
1 Vorrichtung zum Schleifen genauer Winkel für das Flankenmeßgerät.

In Arbeit befinden sich noch:

1 Thermostat besonderer Bauart,
1 Interferenzgerät nach Michelson zur Wellenlängenmessung nach der Methode von Kösters.

*54. Andere Arbeiten.*

Außerdem wurden wieder mehrfach Teilungen ausgeführt, einige Ventile für flüssige Gase, eine große Rezipientenplatte, eine Schlittenführung für das Flankenmeßgerät angefertigt und eine Hochspannungstransformatorspule gewickelt.

Für das aerophysikalische Meßgerät, dessen Bau durch die Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft unterstützt wird, wurden Versuche mit Bourdonrohren aus Stahl erfolgreich fortgesetzt.

Die Beratung in technischen Fragen nahm denselben Umfang an, wie im Vorjahre.

## Abteilung I.

### Unterabteilung Ia.

*55. Allgem. Angel. d. Maß- u. Gewichtswesens.*

Außer der Bearbeitung der laufenden, die Maß- und Gewichtsordnung betreffenden Fragen wurden folgende Arbeiten veröffentlicht:

*56. Eichordnung*[1].

a) Verordnung über Änderung der Eichordnung. Vom 13. Mai 1929 (Reichsgesetzbl. I S. 112).

[1] b) Verordnung über Übergangsbestimmungen für die Neueichung von Meßgeräten. Vom 13. Mai 1929 (Reichsgesetzbl. I S. 118).

[1] c) Verordnung über Abänderung der Verordnung über Übergangsbestimmungen für die Eichung von Meßgeräten. Vom 15. Mai 1929 (Reichsgesetzbl. I S. 118).

[2] d) Bekanntmachung über die Neueichung selbsttätiger Balkenwaagen. Vom 19. November 1929 (Mitteilungen 11. Reihe S. 253).

[1] e) Verordnung über Änderung der Eichordnung. Vom 22. November 1929 (Reichsgesetzbl. I S. 208).

[1] f) Verordnung über Übergangsbestimmungen für die Neueichung von Meßgeräten. Vom 22. November 1929 (Reichsgesetzbl. S. 211).

*57. Eichgebührenordnung*[1].

g) Vierte Verordnung über Änderung der Eichgebührenordnung. Vom 26. November 1929 (Reichsgesetzbl. S. 207).

[3] h) Verordnung über Festsetzung einstweiliger Eichgebühren für Meßwerkzeuge für Flüssigkeiten. Vom 7. Dezember 1929 (Mitteilungen 11. R. S. 279).

*58. Verkehrsfehlergrenzen*[1].

i) Vierte Verordnung über Änderung der Verkehrsfehlergrenzen von Meßgeräten. Vom 11. November 1929 (Reichsgesetzbl. I S. 203).

*59. Prüfwesen*[4].

k) Bekanntmachung über die Prüfung von Parallelendmaßen. Vom 22. Februar 1929 (Mitteilungen 11. R. S. 197.)

*60. Eichstatistik*[5].

l) Die Reichseichstatistik für die Geschäftsjahre 1926 und 1927 wurden als Beilagen Nr. 1 und 2 zu der Nr. 13 der 11. Reihe der Mitteilungen gedruckt.

*61. Maß- und Gewichtsrecht*[6].

Von Staatsanwaltschaften und Eichungsaufsichtsbehörden gingen ein:
30 Amtsgerichts-, 3 Landgerichts-, 42 Oberlandesgerichtsurteile.

---

[1] Schönherr, Kreuter. [2] Schönherr, Blum. [3] Schönherr, Thomas.
[4] Kösters, Lampe. [5] Kreuter. [6] Drewitz.

Aus dem vorliegenden Material war ersichtlich, daß eine einheitliche Rechtsprechung der Oberlandesgerichte sich allmählich durchsetzt.

In den „Mitteilungen" der Abt. I sind 9 AG.-Urteile, 1 LG.-Urteil und 3 OLG.-Urteile abgedruckt worden.

Laboratorium Ib.

*62. Prüfungen und Beglaubigungen*[1].

Es wurden geprüft und beglaubigt:

| | |
|---|---|
| 32 | Kryptonröhren, |
| 205 | rechtwinklige Endmaße, |
| 18 | zylindrische Endmaße, |
| 54 | Endmeter (Stahl, schneidenförmige Enden), |
| 50 | Gebrauchsnormale (Holz), |
| 2 | Strichmeter ersten Ranges mit Ausdehnung (Nickelstahl), |
| 1 | Hauptnormal mit Ausdehnung (Messing), |
| 4 | Strichmeter geringerer Güte (Stahl und Messing), |
| 6 | Strichmaße über 1 m bis 4 m (Stahl), |
| 5 | Strichmaße unter 1 m (Stahl), |
| 2 | Strichmaße unter 1 m (Glas), |
| 4 | Jäderindrähte zu 24 m (Invar), |
| 17 | Bandmaße von 10 bis 60 m (Stahl, Invar und V 2 A-Stahl), |
| 4 | Präzisionsnivellierlatten mit Invarband, |
| 1 | Kontrollmaßstab dazu aus Invar, |
| 5 | Meßzylinder mit Skalen (Messing), |
| 2 | Trägheitszylinder, |
| 11 | Blutkörperchen-Zählkammern, |
| 2 | Dickenmessungen an Platindrähten, |
| 4 | Ausdehnungsbestimmungen an zwei Bändern und 2 Stäben aus Invar, |
| 91 | Meßgeräte verschiedener Art für Seeschiffsvermessung, |
| 256 | Meßgeräte verschiedener Art für die Zollverwaltung. |
| zusammen 776 | Gegenstände. |

*63. Bearbeitung technischer Fragen bei Strichmaßen*[2].

Von einer 5 cm-Glasskale mit Zehntelmillimeterteilung wurde eine Anzahl Striche interferometrisch ausgemessen. Die Glasskale wurde darauf, Teilung unten, auf eine Nickelstahlskale so aufgebracht, daß ihre Striche dicht neben bestimmte Striche der Nickelstahlskale zu liegen kamen. Die Ausmessung der geringen Differenzen erfolgte mit einem der neuen Mikroskope der Teilmaschine mit hundertfacher Vergrößerung. Die beiden Bestimmungen differierten im Maximum um 0,2 $\mu$. Die ermittelten Fehler bei 20° der bestimmten Striche gingen über 0,3 $\mu$ nicht hinaus.

Für die Bestimmung der Fehler der 20°-Eichamtsnormale, bei denen die Fehler der einzelnen Striche bei 20° 10 $\mu$ bzw. 20 $\mu$ nicht übersteigen sollen, wurde eine 300 mm-Glasskale mit ca. 10 $\mu$ breiten Strichen aus einer Glassorte beschafft, deren Ausdehnung der Stahlausdehnung nahe kommt. In größerer Länge war die Skale leider nicht erhältlich. Die Fehler der Glasskale betragen nur wenige $\mu$. Wird die Glasskale nun, Teilung unten, auf die Strichteilung des Stahlmaßstabes so aufgelegt, daß die Nullstriche sich decken, so können die Fehler des Stahlmaßstabes unter Zuhilfenahme der bekannten Strichdicke (100 $\mu$) unter einem Mikroskop von passender Vergrößerung (etwa dreißigfach) unmittelbar durch Schätzung auf etwa $\pm$ 5 $\mu$ ermittelt werden.

Bei der Bestimmung der 4 Präzisionsnivellierlatten mit aufgemalten Teilungen auf gespanntem Invarband ergaben sich für die etwa 3 m langen Gesamtlängen der einzelnen Teilungen Fehler bei 18° von

| | |
|---|---|
| + 0,20 mm | + 0,22 mm |
| + 0,21 „ | + 0,27 „ |
| + 0,16 „ | + 0,20 „ |
| + 0,16 „ | + 0,22 „ . |

[1] Langbein, Lampe, Neumann, Weber.
[2] Langbein, Neumann.

Die größten inneren Teilfehler der bestimmten Striche betrugen

| | |
|---|---|
| — 0,02 mm | + 0,04 mm |
| — 0,03 „ | + 0,04 „ |
| + 0,02 „ | + 0,04 „ |
| — 0,03 „ | + 0,04 „ . |

Die Verkürzungen der für die Ausdehnungsbestimmung bis etwa 30° erwärmten Latten betrug für die untersuchte 2 m-Strecke:

| | |
|---|---|
| 4 $\mu$ | 9 $\mu$ |
| 4 $\mu$ | 6 $\mu$. |

Es bleibt dabei die Frage offen, ob die Verkürzung auf Längenänderung des Bandes selbst oder auf Spannungsänderung infolge einer etwaigen Verkürzung der Holzlatten zurückzuführen ist.

*64. Längenmeßgeräte*[1]. Zwei neue Bauarten wurden geprüft.

*65. Einführung neuartiger Normalflächen.* Die für die Prüfung bisher verwandten Normalflächen aus Preßspan wurden durch Gummi mit Gewebeeinlage ersetzt. Die Gummiflächen sind fast unveränderlich.

*66. Ergänzungen der Eichordnung.* Die durch die Einführung von Längenmeßmaschinen nötig gewordenen Änderungen und Ergänzungen der Eichordnung wurden veröffentlicht (*Mitteilungen 11. Reihe Nr. 14 S. 237*).

*67. Bildliche Darstellungen.* Die für eine allgemein zugelassene Stoffmeßmaschine und Ledermeßmaschine erforderlichen bildlichen Darstellungen mit zugehörigen Beschreibungen und Erläuterungen wurden fertiggestellt.

*68. Interferenzmessungen und internationale Längenmessungen*[2].

*a) Meteranschluß.* Mit der Ausmessung und Bestimmung des Ausdehnungskoeffizienten der Endmaße von 100, 200, 300, 400 und 500 mm Länge wurde begonnen. Diese Endmaße und die übrigen bis 1 m Länge werden einerseits zur eindeutigen Vorbestimmung des Wellenlängenmaßes (Ordnungszahl) des 990 mm-Hauptendmaßes für den direkten Meteranschluß benötigt, anderseits sollen sie als Normale zur interferometrischen Prüfung von langen Endmaßen dienen. Da die Meßflächen dieser Endmaße den hohen Anforderungen der Interferenzmessung nicht vollständig genügten, werden sie zur Zeit vor Fortsetzung der Messungen einer Nachbearbeitung unterzogen.

*b) Kryptonröhren.* Im Berichtsjahre wurden 32 Kryptonröhren für interferometrische Längenmessungen geprüft. Einige der Röhren konnten nicht beglaubigt werden, da sie starke spektrale Verunreinigungen zeigten, die die Sichtbarkeit der Interferenzen stark herabsetzen. Als untere Grenze für den notwendigen Wasserstoffgehalt der Kryptonröhren ist die gleiche spektrale Intensität der roten Wasserstofflinie und der benachbarten roten Kryptonlinie 6456 anzusehen. Bei noch höherem Wasserstoffgehalt nimmt die Sichtbarkeit der gelbgrünen und roten Interferenzstreifen (Linie 5650 und 6456) zu, dagegen die der gelben (Linie 5871) auffällig ab. Im Gegensatz hierzu nimmt bei Abnahme und spektralem Verschwinden des Wasserstoffs die Interferenzfähigkeit der gelbgrünen und roten Linie ab und die der gelben Linie zu. Für die Beglaubigung der Röhren bleibt daher die gelbe Linie unberücksichtigt. Um den Wasserstoffgehalt der Röhren in erforderlicher Menge wieder einzuführen, wurden Versuche mit Kryptonröhren eingeleitet, die mit der aus der Röntgentechnik bekannten Osmoregenerierung ausgestattet sind.

Weiterhin wurde mit Versuchen zur lichtstarken Anregung des Kryptonspektrums mit Hilfe von Kurzwellen (etwa 8 m Wellenlänge) in elektrodenlosen Röhren begonnen. Die Apparatur des Kurzwellensenders wurde in liebenswürdiger Weise von Herrn Dr. Hans Pettersson zur Verfügung gestellt. Vorversuche zeigen, daß neben der Erhöhung der Helligkeit auch eine Erhöhung der Interferenzfähigkeit auftritt. Von dieser Anregungsmethode ist neben einer größeren Lebensdauer der Röhren vor allem die erwünschte Konstanz der Sichtbarkeit der Interferenzen zu erwarten.

*c) Wellenlängennormalen.* Die Brauchbarkeit der gelbgrünen Kryptonlinie, die als Ersatz der roten Kadmiumlinie in Aussicht genommen ist, wurde wiederum bei den laufenden Prüfungen, insbesondere bei den Messungen langer Endmaße mit dem Meteranschlußapparat bestätigt. Der von Meggers, Bruin und Humphreys (*Research Paper No. 89 des Bureau of Standards*) gemachte Vorschlag, die lichtstarke gelbe Kryptonlinie an Stelle der gelbgrünen Linie zu wählen, dürfte wegen der Feinstruktur der gelben Linie, über deren Auffindung bereits im Tätigkeitsbericht für 1928 berichtet wurde, hinfällig sein. Wenn die obengenannten

[1] Lanzrath. [2] Kösters, Lampe, Weber.

Autoren dem metastabilen $s^3$-Term, wie er der gelbgrünen Linie eigen ist, vor allem Absorption oder Selbstumkehr zuschreiben, so dürfte das bei Kr I nicht zutreffen. Denn bei der ersten Untersuchung der Kryptonfeinstruktur mit Etalon (Tätigkeitsbericht für 1927) wurde bei den untersuchten Linien, insbesondere den roten Linien mit $s^3$-Term keine Selbstumkehr beobachtet, dagegen starke Selbstumkehr bei dem metastabilen $s^5$-Niveau und sogar bei $s^4$ und $s^2$. Diese Feststellung steht also im Gegensatz zu den mit einfacheren Mitteln gefundenen Ergebnissen von Mc Lennan und Ruedy, auf die obengenannte Autoren hinweisen. In bezug auf die Linie 7854 ($1s^3 - 2p^3$) war bereits im Tätigkeitsbericht 1927 auf diesen Gegensatz aufmerksam gemacht worden.

*d) Ausdehnung eines Abschnittes des deutschen Meterprototyps.*

Der interferometrisch gefundene Ausdehnungskoeffizient (Tätigkeitsbericht für 1928, Nr. 58f) des Prototypabschnittes B beträgt $8{,}67 \cdot 10^{-6}$ (nicht $8{,}677 \cdot 10^{-6}$).

*e) Anschubkorrektion.*

Die Anschubkorrektion (Tätigkeitsbericht für 1926) von Johansson-Endmaßen neuester Fertigung wurde zu $+ 0{,}054\,\mu$ bestimmt.

*f) Interferometrische Ausmessung von Strichmaßen[1].*

Die im vorigen Tätigkeitsbericht angegebene Zusatzeinrichtung zum Hilgerschen Michelsoninterferometer für Strichmaßmessungen wurde mit Krypton- und Heliumlinien praktisch erprobt. Es zeigte sich, daß die bei diesen Messungen erzielte Genauigkeit in erster Linie von der Pointierungsgenauigkeit des Striches im Mikroskop abhängt. Bei einer Mikroskopapertur von 0,65 und 550facher Vergrößerung beträgt die maximale Einstellunsicherheit eines Striches bzw. die maximale Unsicherheit eines Intervalles etwa $0{,}1\,\mu$.

*g) Neue Mikroskope für den großen (1 m- und 4 m-) Komparator.*

Für den großen 1 m-Komparator wurden zwei Monochromatobjektive für die grüne Hg-Linie mit einer Apertur von 0,53 und einem freien Objektabstand von 20,3 mm nebst zugehöriger Beleuchtungseinrichtung und Montierung bei der Fa. Carl Zeiss in Auftrag gegeben.

Der 4 m-Komparator wurde mit 5 neuen Achromatobjektiven mit der Apertur 0,1 ausgerüstet. Um eine Neuberechnung des Objektivs zu vermeiden, hat die Fa. Ernst Leitz in Wetzlar ihr handelsübliches Mikroskopobjektiv Achromat 1 auf Vorschlag der Abt. I in $4^1/_2$facher Vergrößerung seiner Dimensionen ausgeführt.

*h) Messung von 24 m-Invardrähten für das internationale Büro in Sèvres.*

Gemäß Beschluß des internationalen Komitees für Maß und Gewicht im Jahre 1913 wurden im Berichtsjahre die bereits in Sèvres und Teddington gemessenen 4 Invardrähte von 24 m Länge (Carpentier) mit möglichst hoher Genauigkeit ausgemessen. Ein eingehender Bericht über diese Arbeit und ihre Ergebnisse werden in kurzem veröffentlicht.

*i) Dickenmessung von Aluminiumfolien.*

Die verschiedene Oberflächenbeschaffenheit von technischer Aluminiumfolie, deren eine Oberfläche glatt, die andere kreppartig aufgerauht ist, hat zur Folge, daß das Resultat der Dickenmessung der Folien vom jeweiligen Meßverfahren, insbesondere vom Meßdruck, abhängt. Die Druckabhängigkeit der Dicke wurde mit einem Zeiss-Optimeter zwischen zwei hochglanzpolierten Endmaßen bis zu einem maximalen Flächendruck von 8 kg pro 1 qmm bestimmt. Bereits bei einem Druck von 4 kg pro 1 qmm ist bis auf etwa $0{,}1\,\mu$ die sich aus der Druckkurve ergebende Minimaldicke erreicht. Bei einem Druck von etwa 0,8 kg pro 1 qmm, der auch dem vorsichtig (langsam) unmittelbar auf die Folie gesetzten Kugelkontakt des Zeiss-Optimeters entspricht, wird ein um etwa $0{,}5\,\mu$ über der Minimaldicke liegender Wert gefunden. Fast der gleiche Wert ergibt sich aus der Dickenbestimmung durch Wägung unter Benutzung eines spezifischen Gewichtes von 2,65 bis 2,70. Da die verbrauchende Industrie die Folien im allgemeinen unter viel geringerem Druck verarbeitet, so ist mit der „Effektivdicke“ der Folie zu rechnen, die bei den untersuchten Folien etwa 2 bis $3\,\mu$ größer ist als die Minimaldicke. Es ist beabsichtigt, daher ein einheitliches Meßverfahren den Interessentenkreisen vorzuschlagen.

*k) Englischer Zoll.*

In Übereinstimmung mit dem *National Physical Laboratory* in Teddington legt die Reichsanstalt ihren Feinmessungen in englisch Zoll nicht die gesetzliche Beziehung 1 engl. Zoll = 25,399978 mm, sondern die von Sears, Johnson und Jolly 1928 gefundene Beziehung

$$1 \text{ engl. Zoll} = 25{,}399956 \text{ mm}$$

zugrunde.

---

[1] Lampe, Neumann, Weber.

### Laboratorium Ic.

*69. Prüfungen*[1]. Es wurden geprüft:

*Für Behörden:*

2 Normalgewichte zu 500 g aus Platin (einschl. Wasserwägung),
4 Hauptnormal-Gewichtssätze mit zugehörigen
6 Hilfssätzen,
3 Einzel-Hauptnormal-Gewichte (einschl. Wasserwägung),
1 Scheibengewichts-Satz (12 St.; 6—6230 g etwa),
1 Quarzgewicht (50 g),
2 Trägheitszylinder,
22 Garngewichts-Sätze,
12 Garnwaagen.

*Für Private:*

7 analytische Einzelgewichte,
58 analytische Gewichts-Sätze,
12 Rädchen aus Metall.

*70. Getreideprober*[2]. *a) Systemprüfungen.* Neben den laufenden Prüfungen und Nachprüfungen von Viertelliter- und Literprobern für Eichungsaufsichtsbehörden sowie für andere in- und ausländische Behörden wurde eine Reihe von Systemprüfungen ausgeführt. Es handelte sich dabei um neuartige Ausführungsformen von Viertelliter- und Literprobern, die abweichend von den bisher zugelassenen Formen nicht mit Vorlaufkörper, sondern mit einer Zerstreuereinrichtung versehen sind und insofern der vorgeschriebenen Einrichtung des Zwanzigliter-Normalprobers angeglichen sind. Das Ergebnis der bisherigen Untersuchungen hat gezeigt, daß sich der erstrebte Zweck, nämlich auf diesem Wege die Maßanzeigen dieser kleineren Prober den Angaben des Zwanzigliter-Normalprobers proportional zu machen, noch nicht erreicht worden ist.

*b) Vergleich der Zwanzigliterprober.* Zur Entscheidung der Frage, inwieweit die Zwanzigliter-Normalprober als eine zuverlässige Grundlage des bestehenden Systems der Wertigkeitsbestimmung von Getreidesorten angesehen werden können, ist auf Anregung des Ungarischen Zentralinstituts für Maß und Gewicht mit der Nachprüfung der in den auswärtigen Ländern als Urnormale dienenden Zwanzigliterprober begonnen worden, und zwar wurde zunächst der hierher überführte ungarische Zwanzigliter-Normalprober Nr. 46 mit unserem Urnormal verglichen. Hierbei ergab sich, daß der im Jahre 1907 letztmalig angeschlossene ungarische Prober Nr. 46 trotz starker Inanspruchnahme seine Abweichungen bei allen Getreidesorten von dem hiesigen Urnormal sehr genau beibehalten hatte. Die benutzten Getreidesorten umfaßten Weizen, Roggen, Gerste, Hafer deutscher, amerikanischer sowie auch insbesondere ungarischer Herkunft.

*c) Grundsätzliches.* Im Zusammenhang mit diesen Prüfungen wurden Untersuchungen in Angriff genommen, die für die Beurteilung des Systems selbst, nach dem die Bestimmung der Wertigkeit der verschiedenen Getreidesorten mittels der zugelassenen Getreideprober erfolgt, von grundsätzlicher Bedeutung sein dürften. Bei diesen Versuchen wurde einmal die Dichte von Getreide in der üblichen Weise mittels Getreideprober bestimmt und daneben die wirkliche Dichte des gleichen Getreides nach dem hydrostatischen Verfahren in der Weise bestimmt, daß die von einer abgewogenen Getreidemenge verdrängte Flüssigkeitsmenge unmittelbar gemessen wurde. Diese Parallelbestimmungen wurden für die vorbenannten verschiedenen Getreidesorten durchgeführt. Hierbei ergab sich, daß die nach dem üblichen Schüttverfahren mit dem Getreideprober ermittelten Schüttdichten den nach dem hydrostatischen Verfahren ermittelten wirklichen Dichten von Getreide verschiedener Sorten sich nicht entsprechen. Der Grund für dieses Verhalten ist offenbar darin zu suchen, daß die Schüttdichte außer von der Art des Schüttens selbst in erster Linie von der Form und Oberflächenbeschaffenheit des Korns abhängt.

Diese Versuche werden in dieser Richtung fortgesetzt.

---

[1] Schultze, Lenk, Roerdansz (bis Anfang Mai 1929). [2] Lanzrath.

### Laboratorium Id[1].

Die Eichvorschriften für Waagen sind entsprechend der Entwicklung der Technik und den Bedürfnissen des Verkehrs weiter ausgestaltet worden. Besonders umfangreiche Neubearbeitungen erforderten die Bestimmungen für die Prüfung von Brückenwaagen und für die Waagen mit Neigungsgewichtseinrichtung. *71. Handelswaagen.*

Auf dem Gebiete der Waagen mit Neigungsgewichtseinrichtung wurden 9 Bauarten endgültig zur Eichung zugelassen und die bildlichen Darstellungen und die zugehörige Beschreibung und Erläuterung entsprechend ergänzt. Weitere 50 Bauarten (davon 1 Bauart mit Druckapparat und 7 Bauarten als Waagen zum Herstellen gleicher Packungen) wurden probeweise zur Eichung zugelassen.

Die Systemprüfungen von Waagen zur selbsttätigen Abwägung des Füllgutes und von anderen selbsttätigen Waagen wurden fortgeführt. *72. Waagen für besondere Zwecke.*

### Laboratorium Ie.

Es wurden neue Normale zur Prüfung absoluten Alkohols beschafft und zusammen mit älteren Normalen, deren Nachprüfung sich als notwendig herausgestellt hat, geprüft. Die Aräometernormale des Laboratoriums sind zum Teil bereits über 40 Jahre alt. Eine auf Kontraktion des Glases zurückzuführende Veränderung der Aräometer konnte nicht festgestellt werden. Mehrere ältere Normale werden durch neue ersetzt werden müssen, da ihre Papierskale so vergilbt ist, daß sie nicht mehr mit der genügenden Sicherheit abgelesen werden kann. *73. Normale[2].*

Für hochprozentige Branntweine sind Tafeln berechnet worden zur Ermittlung des Alkoholgehalts aus der Angabe eines Aräometers nach Dichte mit der Justiertemperatur 15° und aus der Temperatur der Flüssigkeit (vgl. *Mitteilungen 11. Reihe Nr. 15*). Diese Tafeln wurden notwendig, seit absoluter Alkohol in großen Mengen hergestellt wird als Automobilkraftstoff usw. Das für 15° justierte gewöhnliche Alkoholmeter sinkt bei höheren Temperaturen — wie sie im Sommer stets vorhanden sind — bis über den Teilstrich 100% ein. Daher sind zunächst bei der Reichsmonopolverwaltung die Prozent-Alkoholometer für hochprozentigen Branntwein durch Dichtespindeln ersetzt worden. *74. Berechnung von Tafeln und andere grundlegende Arbeiten[2].*

Zur Sicherstellung der Grundlagen der Leimprüfung mittels Aräometers wurden Untersuchungen eingeleitet. Bisher wurden in der Leimindustrie zur Feststellung des Trockensubstanz-Gehalts einer Handelsleimlösung Leimspindeln nach Suhr verwendet. Diese sind von dem ersten Hersteller vor etwa 30 Jahren empirisch bestimmt worden. Im Laufe der Zeit haben sich an der Richtigkeit der Spindeln erhebliche Zweifel ergeben, und die Forderungen nach einer genauen Leimspindel sind so dringend geworden, daß die Reichsanstalt sich der Sache annahm. Es ist die Kapillarität des Leims und dessen Ausdehnung bei höheren Temperaturen — 70 Grad ist die Normaltemperatur der Leimspindel — zu bestimmen. Die Feststellung des Leimgehalts in der von den Herstellern gewünschten Weise mittels Aräometers auf eine sichere Grundlage zu stellen, ist besonders deshalb schwierig, weil der Wassergehalt des üblichen Handelsleims, der bekanntlich in Tafeln käuflich ist, je nach der Herkunft von 5 bis 12% schwankt. Die Bestimmung des Wassergehalts stößt bei den bisher üblichen Untersuchungsmethoden noch auf erhebliche Schwierigkeiten.

Versuche wurden angestellt über die Abhängigkeit der Tropfenzahl von der Form und Öffnung der Auslaufspitzen bei Büretten.

Ferner wurde die Meßgenauigkeit untersucht, die sich bei der Eichung von Meßwerkzeugen für wissenschaftliche und technische Untersuchungen erreichen läßt.

Die Prüfungseinrichtung für medizinische Spritzen auf Druckfestigkeit und Dichtigkeit ist fertiggestellt worden und hat sich bewährt. An der Ausbildung des Sandstrahlgebläses zur Stempelung sehr harten Glases wird weiter gearbeitet. Ein sehr wesentlicher Fortschritt ist erzielt worden dadurch, daß die zum Blasen erforderlichen Schablonen aus Papier gestanzt wurden. *75. Bau von Apparaten[2].*

Die Mitarbeit hat sich vor allem auf den Ersatz der seit dem 1. Januar 1929 nicht mehr zur Eichung zugelassenen Baumèspindel durch ein zu normendes Aräometer nach Dichte erstreckt. *76. Mitarbeit im Fachnormenausschuß für Laboratoriumsgeräte[2].*

---

[1] Schönherr, Kornatz, Blum, Padelt.

[2] Hartmann, Hoffmann.

*77. Laufende Prüfungen*[1]. Es wurden 115 Aräometer für ausländische Eichbehörden, für das Reichsmonopolamt, für die Zollverwaltung und für Private geprüft, und zwar Aräometer nach Dichte für Mineralöle und für Schwefelsäure, Alkoholmeter und Saccharimeter. Weiter wurden 300 andere Meßgeräte geprüft, und zwar:

81 Kolben,
30 Vollpipetten,
10 Meßzylinder,
55 Büretten,
3 Meßröhren,
4 Pyknometer,
3 Senkkörper für Mohrsche Waagen,
14 Blutmischpipetten,
100 medizinische Spritzen.

*78. Gehaltsbestimmung von Meerwasser*[2]. Wie bereits im vorigen Geschäftsbericht mitgeteilt wurde, sollten neue genaue und schnelle Methoden der Gehaltsbestimmung von Meerwasser gefunden werden, die für die Ozeanographie von der größten Bedeutung sind. Die bisher angewandten Methoden (Bestimmung des Chlorgehalts durch Titration unter Benutzung einer Vergleichslösung, Dichtebestimmung, Messung der Leitfähigkeit mit Vergleichslösung) sind zum Teil relative Methoden, zum Teil zu umständlich oder stark temperaturabhängig. Es wurde daher versucht, die Meerwasserlösungen durch den Brechungsindex im Vergleich mit Wasser zu charakterisieren.

Die Methode der Ausmessung der Brechung mit dem Spektrometer ist nur im Laboratorium verwendbar. Es bleiben daher nur die Interferenzverfahren mit hohem Gangunterschied übrig, und zwar, da die direkte Ordnungszahlbestimmung in homogenem Licht zu schwierig und unsicher ist, nur die Bestimmung in weißem Licht mit Hilfe einer stetig veränderlichen Kompensationseinrichtung.

Wenn man die auf diesem Gebiet gebräuchlichen Kompensatoren (drehbare Planparallelplatte bei dem Interferometer Rayleigh-Haber-Löwe oder veränderlicher Doppelkeil) durchmustert, so findet man, daß diese nur für ganz kleine Gangunterschiede zu benutzen sind, und zwar aus folgendem Grunde: Bei größerem Gangunterschied färbt sich der weiße Streifen, der den Gangunterschied Null bei der Kompensation darstellt, und ist als Nullstreifen nicht mehr erkennbar. Dies liegt daran, daß nicht alle Farben gleichzeitig kompensiert werden, oder anders ausgedrückt, daß die Dispersion des zu messenden Mediums (Differenz zwischen Meerwasser und Wasser) und dem Kompensator verschieden ist. Soll der Streifen stets Weiß 1. Ordnung zeigen, so muß die relative Dispersion in beiden miteinander interferierenden Strahlen gleich sein. Ist $n_s$ der Brechungsindex des konzentrierten Meerwassers, $n_0$ der des Wassers, $n$ der des Kompensators in Luft, $D$ die Dicke der Schicht der Lösungen, $d$ die Dicke des kompensierenden Glases, so muß die Bedingung

$$\frac{n_s - n_0}{n - 1} = \frac{d}{D}$$

für alle Wellenlängen erfüllt sein.

Dies ist der neue von uns aufgestellte Grundsatz für die Konstruktion einer Kompensationseinrichtung für beliebigen Gangunterschied in weißem Licht.

Ist die Kompensation für eine starke Lösung erreicht, so ist sie auch für andere Konzentrationsgrade erreicht, da das $\nu$ (Abbesche Zahl) der Differenz $n_s - n_0$ sich mit der Konzentration nicht wesentlich ändert, so daß jeder Konzentrationsgrad durch veränderte Dicke des Kompensatorglases kompensiert werden kann.

Der Kompensator besteht in allen Fällen aus Keilpaaren aus Glas, die zusammen eine planparallele Platte von veränderlicher Dicke bilden.

Zu dieser „Achromatisierung“ der Strahlengänge aufeinander kann man sich verschiedener Mittel bedienen, entweder der gewöhnlichen Methoden der Fernrohroptik durch Benutzung zweier

---

[1] Hartmann, Hoffmann.

[2] Kösters, Bein, Hirsekorn.

verschiedener Gläser in den beiden Zweigen von einem bestimmten Verhältnis der Dicken, oder aber durch Benutzung eines einzigen Glases von annähernd richtigem $\nu$, das passend geneigt in den Strahlengang gesetzt wird. Der Gangunterschied $\Delta$, der durch eine geneigt in den Strahlengang gesetzte Platte hervorgerufen wird, beträgt nämlich

$$\Delta = \left(\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha} - \sqrt{n_l^2 - \sin^2\alpha}\right) d\,,$$

wenn $n$ den Brechungsindex des Glases, $n_l$ den der Luft, $\alpha$ den Neigungswinkel der Platte, $d$ ihre Dicke bezeichnet. Man erkennt, daß die relative Gangverlängerung für die einzelnen Farben, d. h. die wirksame Dispersion von der Neigung $\alpha$ der Platte abhängt. Dies ist in erster Linie der Grund, weshalb der Drehkompensator zur Kompensation größerer Gangunterschiede völlig unbrauchbar ist, gleichgültig welches Glas man benutzt, da die scheinbare Dispersion des Glases sich mit der Drehung verändert.

Dieselbe Eigenschaft, die den Drehkompensator unbrauchbar macht, ist von uns benutzt worden, um mit einem Glase die vollkommene Kompensation in weißem Licht zu erreichen, dadurch, daß der benutzte Keilkompensator unter einem genau berechneten oder bestimmten Winkel in den einen Strahlengang gestellt wurde. In dem anderen Strahlengang stand unter der gleichen Neigung eine feste Platte, die der größten Dicke des Keilpaares entsprach, um bei dem Konzentrationsunterschied Null den Gangunterschied Null herzustellen.

Ein solcher Apparat wurde in der Abteilungswerkstatt hergestellt und in ein ad hoc eingerichtetes Rayleigh-Interferometer eingebaut. Die ganze Beobachtung besteht in der Einstellung und Ablesung der den Keil verschiebenden Mikrometerschraube. Die Beziehung zwischen Schraubendrehung (Kompensatorstellung) und Gangunterschied wurde mit homogenem Licht der gelben He-Linie durch Auszählen gemessen, alle am Objekt gemessenen Gangunterschiede wurden auf dieses Licht bezogen. Will man in Streifen bestimmen, so kann man die Ordnungszahl an der Schraube, den Bruchteil in homogenem Licht direkt ablesen.

Die als Grundlage für die Berechnung des Keils notwendigen Brechungsexponenten wurden mit einem von der Notgemeinschaft freundlichst zur Verfügung gestellten großen Spektrometer von Bamberg mit einem Hallwachsprisma bestimmt. Die gefundenen Zahlen stimmen bis auf Einheiten der 6. Dezimale mit den von Schütt[1] gefundenen Zahlen für Kochsalzlösungen überein. Die Unterschiede sind z. T. auf Nichtberücksichtigung der atmosph. Schwankungen zurückzuführen.

Mit dem beschriebenen Interferenzapparat wurde durch eine Reihe von Beobachtungen der Zusammenhang zwischen Dichte, Chlorgehalt und Brechung der Meerwasserlösungen gemessen. Die Dichte wurde durch hydrostatische Wägung ermittelt. Ferner wurde die Temperaturausdehnung der Lösungen gemessen. Es bleibt noch der Temperaturkoeffizient der Brechung zu bestimmen. Diese Untersuchungen werden in kurzem mit dem vollen Zahlenmaterial veröffentlicht werden.

Das neu aufgestellte Prinzip der achromatischen Kompensation wird sich für die verschiedensten Gebiete als sehr fruchtbar erweisen. Außer zur exakten Bestimmung von Lösungen kann es zur unmittelbaren Bestimmung der Dichte (für Wägungen) und Brechung der Luft und von Gasen dienen, mit einer bisher ungekannten Genauigkeit auf die einfachste Weise. Es besteht die Absicht, für Endmaßmessungen in Zukunft in jedem Falle die Brechung der Luft in der Vergleichsluftstrecke direkt zu messen. Die Einrichtung ist ferner zur genauen quantitativen Analyse von Gasgemischen, zur Bestimmung der Luftfeuchtigkeit und zu unmittelbaren Messungen von Strecken bis 0,5 mm mit Interferenzgenauigkeit in weißem Licht verwendbar.

### Laboratorium If.

*79. Vorschriften, betreffend Flüssigkeitsmeßgeräte*[2].

Die von der vorjährigen Vollversammlung beschlossenen Änderungen wurden durchgeführt. Weitere Änderungsvorschläge sind vorläufig nur in geringem Umfange gemacht worden. Außer zahlreichen Entscheidungen über die Auslegung und Handhabung der Eichvorschriften waren mehrere Gutachten über die Verwendbarkeit von Flüssigkeitsmeßwerkzeugen für Mengenermittelungen der

---

[1] Schütt, *Zeitschr. f. physikal. Chemie* **5**. *S. 349. 1890.*

[2] Thomas, Zipler.

Zollbehörden zu erledigen. Auch waren Vorschläge zur Änderung der Eichgebührenordnung auszuarbeiten.

*80. Richtigkeitsprüfungen*[1]. In der Zeit vom 1. Oktober 1928 bis 1. Oktober 1929 wurden geprüft:

51 Scheibenmesser für Gasöl,
3 „ „ andere Flüssigkeiten,
2 Wassermesser,
1 Dampfmesser.

*81. Zulassung von Meßgeräten zur Eichung (Systemprüfungen)*[1]. Die Entwicklung bewegte sich in den im vorjährigen Jahresbericht gekennzeichneten Bahnen weiter. Hinzugetreten sind aussichtsreiche Bemühungen, die Vermessung von dickflüssigen Ölen zu verbessern.

Im ganzen wurden 60 Zulassungsanträge gestellt; 40 wurden erledigt, 19 davon führten zu neuen Probezulassungen.

*82. Zulassung von Gasmessern zur Eichung (Systemprüfung)*[2]. Es wurden zugelassen 34 Sonderkonstruktionen von Gasmessern und in 27 Fällen neue Leistungstypen von Gasmessern, namentlich von solchen mit heraufgesetzter Leistungsfähigkeit.

*83. Vorschriften bezüglich der Eichung von Gasmessern*[3]. Weitere Arbeiten betrafen Entscheidungen auf Grund der geltenden Vorschriften, sowie Änderungen und Ergänzungen der Vorschriften. Im besonderen wurde mit der Neubearbeitung des die Gasmesser betreffenden Teiles der Eichordnung und der *Instruktion VIII* zur Eichordnung begonnen.

*84. Richtigkeitsprüfungen*[4]. Es wurde geprüft und beglaubigt 1 Kubizierapparat für Gasmesser. Außerdem wurden zwei trockene Gasmesser zu besonderen Zwecken auf ihren Fehler untersucht.

*85. Fässer*[5]. Die Entwicklung auf dem Gebiete der Metallfässer hält an. Entsprechende Zulassungsanträge liegen vor.

Die Abt. I hat sich nunmehr die Zulassung neuer Bauarten von Fässern zur Eichung vorbehalten.

Zeichnung und Beschreibung der bereits endgültig zugelassenen Bauarten sind in den „Mitteilungen“ der Abt. I 11. Reihe Nr. 15 veröffentlicht worden.

Die Veränderung des Maßraums durch die Beanspruchung im Verkehr und beim Pasteurisieren ist zum Gegenstand eines besonderen Studiums gemacht worden.

(Fortsetzung folgt.)

---

# Bestimmung der inneren Orientierung der Kammer eines Phototheodolits.

Von

**P. Werkmeister** in Dresden.

Die innere Orientierung einer Meßkammer ist bekanntlich bestimmt durch die Lage des Bildhauptpunktes (Fußpunkt des Lotes vom hinteren Objektivhauptpunkt auf die Bildebene) und die Brennweite (Abstand des hinteren Objektivhauptpunktes von der Bildebene). Für die Kammer eines Phototheodolits, bei dem man die Bildebene in einfacher Weise vertikal stellen kann, werden die Lage des Bildhauptpunktes $H$ in horizontalem Sinn und die Brennweite $f$ in der Weise bestimmt, daß man in einem Punkt $S$ einerseits die Horizontalwinkel zwischen mehreren Punkten mit dem Theodolit mißt und andererseits dieselben Punkte in einem Bilde mit vertikaler Ebene festlegt, in dem man die horizontalen Abstände der Punktbilder abmessen kann. Zur eindeutigen Lösung der Aufgabe sind drei Punkte erforderlich; zur Erhöhung der Genauigkeit verwendet man mehr als drei Punkte, die dann zwischen den gemessenen

---

[1] Thomas, Zipler.
[2] Weymann, Mentzel. [3] Weymann. [4] Mentzel.
[5] Drewitz.

Größen auftretenden Widersprüche muß man durch eine Ausgleichung tilgen. Für diese Ausgleichungsaufgabe wurden schon mehrfach Lösungen angegeben. Die „Korrekte und strenge Behandlung des Problemes der Bestimmung der inneren Orientierung eines Phototheodoliten“ wurde vor kurzem von F. Baeschlin[1] veröffentlicht; die in dieser Arbeit mitgeteilte Lösung der Aufgabe unterscheidet sich von den bisherigen Lösungen darin, daß nicht wie bei diesen nur die in dem Bilde abgemessenen Abstände, sondern auch die gemessenen Winkel als mit Fehlern behaftet angenommen werden. Im folgenden wird die Lösung von F. Baeschlin in einer anderen Form vorgeführt und im Anschluß die Genauigkeitsfrage behandelt.

Da man die Lage des Bildhauptpunktes $H$ (Abb. 1) in jedem Fall genähert kennt, so kann man die Aufnahme des Bildes derart anordnen, daß das Bild $P_0'$ eines Punktes $P_0$ in der Nähe von $H$ liegt. Mißt man zur Festlegung von $S$ in bezug auf die Bildebene je mit derselben Genauigkeit die Winkel $\alpha_1, \alpha_2 \ldots \alpha_n$ zwischen $P_0$ einerseits und den $n$ Punkten $P_1, P_2 \ldots P_n$ andererseits, sowie die Abstände $a_1, a_2 \ldots a_n$ zwischen $P_0'$ einerseits und den Punktbildern $P_1', P_2' \ldots P_n'$ andererseits, so hat man zwei Unbekannte zu bestimmen. Wählt man als Unbekannte die Brennweite $f$ und den Winkel $HSP_0' = \varphi$, und bezeichnet man die scheinbaren Fehler der gemessenen Winkel mit $\lambda_1, \lambda_2 \ldots \lambda_n$ und der gemessenen Strecken mit $v_1, v_2 \ldots v_n$, so hat man die $n$ Fehlergleichungen

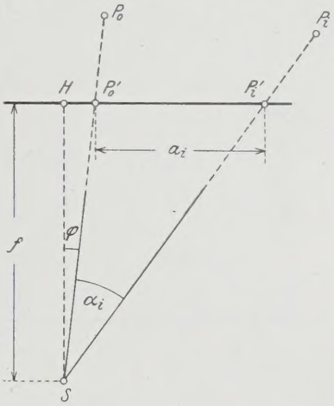


Abb. 1.

$$\left.\begin{aligned} a_1 + v_1 &= f \operatorname{tg}(\alpha_1 + \lambda_1 + \varphi) \mp f \operatorname{tg}\varphi \\ a_2 + v_2 &= f \operatorname{tg}(\alpha_2 + \lambda_2 + \varphi) \mp f \operatorname{tg}\varphi \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots \\ a_n + v_n &= f \operatorname{tg}(\alpha_n + \lambda_n + \varphi) \mp f \operatorname{tg}\varphi \end{aligned}\right\}, \qquad 1)$$

wobei die beiden Vorzeichen den beiden möglichen Lagen — rechts und links von $P_0'$ — der Punkte $P_1, P_2 \ldots P_n$ entsprechen.

Führt man für $f$ einen Näherungswert $f_0$ ein — die Einführung eines Näherungswertes für $\varphi$ wird im allgemeinen nicht nötig sein —, indem man setzt

$$f = f_0 + \Delta f, \qquad 2)$$

so gehen die Fehlergleichungen 1) mit $\operatorname{tg}\varphi = \frac{\varphi}{\varrho}$ über in

$$\left.\begin{aligned} a_1 + v_1 &= (f_0 + \Delta f) \operatorname{tg}(\alpha_1 + \lambda_1 + \varphi) \mp (f_0 + \Delta f)\frac{\varphi}{\varrho} \\ a_2 + v_2 &= (f_0 + \Delta f) \operatorname{tg}(\alpha_2 + \lambda_2 + \varphi) \mp (f_0 + \Delta f)\frac{\varphi}{\varrho} \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots \\ a_n + v_n &= (f_0 + \Delta f) \operatorname{tg}(\alpha_n + \lambda_n + \varphi) \mp (f_0 + \Delta f)\frac{\varphi}{\varrho} \end{aligned}\right\}.$$

[1]) Vgl. *Schweiz. Zeitschr. f. Vermessungsw.* **27.** *S. 31—36. 1929.*

Macht man diese Gleichungen mit Hilfe des Taylorschen Satzes linear, so erhält man

$$\left.\begin{aligned} a_1 + v_1 &= f_0 \operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_1 \,\Delta f \pm f_0 \operatorname{tg}^2 \alpha_1 \frac{\varphi}{\varrho} + \frac{f_0}{\cos^2 \alpha_1} \frac{\lambda_1}{\varrho} \\ a_2 + v_2 &= f_0 \operatorname{tg} \alpha_2 + \operatorname{tg} \alpha_2 \,\Delta f \pm f_0 \operatorname{tg}^2 \alpha_2 \frac{\varphi}{\varrho} + \frac{f_0}{\cos^2 \alpha_2} \frac{\lambda_2}{\varrho} \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ a_n + v_n &= f_0 \operatorname{tg} \alpha_n + \operatorname{tg} \alpha_n \,\Delta f \pm f_0 \operatorname{tg}^2 \alpha_n \frac{\varphi}{\varrho} + \frac{f_0}{\cos^2 \alpha_n} \frac{\lambda_n}{\varrho} \end{aligned}\right\} \qquad 3)$$

oder in anderer Anordnung

$$\left.\begin{aligned} A_1 \Delta f + B_1 \varphi + C_1 \lambda_1 - v_1 + w_1 &= 0 \\ A_2 \Delta f + B_2 \varphi + C_2 \lambda_2 - v_2 + w_2 &= 0 \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ A_n \Delta f + B_n \varphi + C_n \lambda_n - v_n + w_n &= 0 \end{aligned}\right\}, \qquad 4)$$

wobei

$$A_i = \operatorname{tg} \alpha_i, \qquad B_i = \pm \frac{f_0 \operatorname{tg}^2 \alpha_i}{\varrho}, \qquad C_i = \frac{f_0}{\varrho \cos^2 \alpha_i} \quad \text{und} \quad w_i = f_0 \operatorname{tg} \alpha_i - a_i . \qquad 5)$$

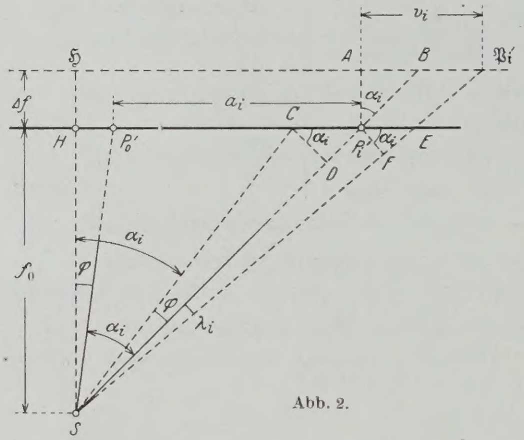



Abb. 2.

Die linearen Fehlergleichungen 3) kann man auch unter Vernachlässigung der kleinen Größen zweiter Ordnung aus einer Figur ablesen. Verändert man die beiden zu einem Punkt $P_i'$ (Abb. 2) gehörigen Werte $\alpha_i$ und $a_i$ der Veränderung $\Delta f$ entsprechend um $\lambda_i$ und $v_i$, so erhält man den Punkt $\mathfrak{P}_i'$; damit ergibt sich

$$a_i + v_i = HP_i' + AB + B\mathfrak{P}_i' - HP_0' .$$

Beachtet man, daß

$$HP_i' = HC + CP_i' = f_0 \operatorname{tg} \alpha_i + \frac{CD}{\cos \alpha_i} = f_0 \operatorname{tg} \alpha_i + \frac{\varphi}{\varrho} \frac{SC}{\cos \alpha_i} = f_0 \operatorname{tg} \alpha_i + \frac{\varphi}{\varrho} \frac{f_0}{\cos^2 \alpha_i},$$

$$AB = \Delta f \operatorname{tg} \alpha_i ,$$

$$B\mathfrak{P}_i' = P_i'E = \frac{P_i'F}{\cos \alpha_i} = \frac{\lambda_i}{\varrho} \frac{SP_i'}{\cos \alpha_i} = \frac{\lambda_i}{\varrho} \frac{f_0}{\cos^2 \alpha_i} \qquad \text{und} \qquad HP_0' = \frac{\varphi}{\varrho} f_0 ,$$

so ergibt sich

$$a_i + v_i = f_0 \operatorname{tg} \alpha_i + \frac{\varphi}{\varrho} \frac{f_0}{\cos^2 \alpha_i} + \Delta f \operatorname{tg} \alpha_i + \frac{\lambda_i}{\varrho} \frac{f_0}{\cos^2 \alpha_i} - \frac{\varphi}{\varrho} f_0$$

oder

$$a_i + v_i = f_0 \operatorname{tg} \alpha_i + \operatorname{tg} \alpha_i \,\Delta f + f_0 \operatorname{tg}^2 \alpha_i \frac{\varphi}{\varrho} + \frac{f_0}{\cos^2 \alpha_i} \frac{\lambda_i}{\varrho} .$$

Dies ist aber die Form der Gleichungen 3).

Will man $\Delta f$ und $\varphi$ so bestimmen, daß $[\lambda\lambda] + [vv]$ ein Minimum wird, so muß man[1] die neue Funktion bilden

[1] Vgl. F. R. Helmert, Die Ausgleichungsrechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate. Leipzig und Berlin 1907. S. 285.

$$\begin{aligned} F = {} & \lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \cdots + \lambda_n + v_1^2 + v_2^2 + \cdots + v_n^2 \\ & + k_1' (A_1 \Delta f + B_1 \varphi + C_1 \lambda_1 - v_1 + w_1) \\ & + k_2' (A_2 \Delta f + B_2 \varphi + C_2 \lambda_2 - v_2 + w_2) \\ & \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \\ & + k_n' (A_n \Delta f + B_n \varphi + C_n \lambda_n - v_n + w_n), \end{aligned}$$

oder anders geschrieben

$$\begin{aligned} F = {} & \left\{ \begin{array}{l} \lambda_1^2 + k_1' C_1 \lambda_1 \\ + \lambda_2^2 + k_2' C_2 \lambda_2 \\ \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \\ + \lambda_n^2 + k_n' C_n \lambda_n \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} v_1^2 - k_1' v_1 \\ v_2^2 - k_2' v_2 \\ \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \\ v_n^2 - k_n' v_n \end{array} \right\} \\ & + (k_1' w_1 + k_2' w_2 + \cdots + k_n' w_n) \\ & + (k_1' A_1 + k_2' A_2 + \cdots + k_n' A_n) \Delta f \\ & + (k_1' B_1 + k_2' B_2 + \cdots + k_n' B_n) \varphi . \end{aligned}$$

Es wird $[\lambda \lambda] + [v v]$ ein Minimum, wenn

$$\frac{\partial F}{\partial \lambda_1} = 0, \quad \frac{\partial F}{\partial \lambda_2} = 0, \cdots, \frac{\delta F}{\partial \lambda_n} = 0; \quad \frac{\partial F}{\partial v_1} = 0, \quad \frac{\partial F}{\partial v_2} = 0, \cdots, \frac{\partial F}{\partial v_n} = 0,$$

sowie

$$\frac{\partial F}{\partial \Delta f} = 0 \quad \text{und} \quad \frac{\partial F}{\partial \varphi} = 0 . \tag{6)}$$

Zur Bestimmung der $(2 + 2n + n)$ Unbekannten $\Delta f$, $\varphi$; $\lambda_1, \lambda_2 \ldots \lambda_n$; $v_1, v_2 \ldots v_n$ und $k_1', k_2' \ldots k_n'$ hat man demnach die $n$ Gleichungen 4) und die $(2n + 2)$ auf Grund der Gleichungen 6) sich ergebenden Gleichungen, die man mit $\frac{k_i'}{2} = k_i$ in der Form schreiben kann

$$\lambda_1 = - C_1 k_1, \quad \lambda_2 = - C_2 k_2, \ldots, \lambda_n = - C_n k_n, \tag{7 a)}$$

$$v_1 = k_1, \qquad v_2 = k_2, \ \ldots, \ \ldots, \ v_n = k_n, \tag{7 b)}$$

$$\left. \begin{array}{l} k_1 A_1 + k_2 A_2 + \cdots + k_n A_n = 0 \\ k_1 B_1 + k_2 B_2 + \cdots + k_n B_n = 0 \end{array} \right\} . \tag{7 c)}$$

Mit Berücksichtigung der Gleichungen 7a) und 7b) gehen die Gleichungen 4) über in

$$\left. \begin{array}{l} A_1 \Delta f + B_1 \varphi - C_1^2 k_1 - k_1 + w_1 = 0 \\ A_2 \Delta f + B_2 \varphi - C_2^2 k_2 - k_2 + w_2 = 0 \\ \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \\ A_n \Delta f + B_n \varphi - C_n^2 k_n - k_n + w_n = 0 \end{array} \right| .$$

Damit erhält man

$$\left. \begin{array}{l} k_1 = \dfrac{A_1}{1 + C_1^2} \Delta f + \dfrac{B_1}{1 + C_1^2} \varphi + \dfrac{w_1}{1 + C_1^2} \\ k_2 = \dfrac{A_2}{1 + C_2^2} \Delta f + \dfrac{B_2}{1 + C_2^2} \varphi + \dfrac{w_2}{1 + C_2^2} \\ \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \\ k_n = \dfrac{A_n}{1 + C_n^2} \Delta f + \dfrac{B_n}{1 + C_n^2} \varphi + \dfrac{w_n}{1 + C_n^2} \end{array} \right|$$

und an Hand der Gleichungen 7c) die beiden Normalgleichungen

$$\left.\begin{array}{l} \left[\frac{AA}{1+C^2}\right]\Delta f+\left[\frac{AB}{1+C^2}\right]\varphi+\left[\frac{Aw}{1+C^2}\right]=0 \\ \left[\frac{AB}{1+C^2}\right]\Delta f+\left[\frac{BB}{1+C^2}\right]\varphi+\left[\frac{Bw}{1+C^2}\right]=0 \end{array}\right\} \qquad 8)$$

zur Bestimmung von $\Delta f$ und $\varphi$.

Die Normalgleichungen 8) ergeben sich auf Grund der Fehlergleichungen 1), bei denen angenommen wurde, daß sowohl die Strecken $a_1, a_2 \ldots a_n$ als auch die Winkel $\alpha_1, \alpha_2 \ldots \alpha_n$ mit Fehlern behaftet sind. Nimmt man an, daß die Winkel $\alpha_1, \alpha_2 \ldots \alpha_n$ fehlerfrei sind, so hat man die Fehlergleichungen

$$\left.\begin{array}{l} a_1+v_1=f\,\mathrm{tg}\,(\alpha_1+\varphi)\mp f\,\mathrm{tg}\,\varphi \\ a_2+v_2=f\,\mathrm{tg}\,(\alpha_2+\varphi)\mp f\,\mathrm{tg}\,\varphi \\ \cdots\cdots\cdots\cdots \\ a_n+v_n=f\,\mathrm{tg}\,(\alpha_n+\varphi)\mp f\,\mathrm{tg}\,\varphi \end{array}\right\}. \qquad 9)$$

Mit $\mathrm{tg}\,\varphi=\frac{\varphi}{\varrho}$ und $f=f_0+\Delta f$ gehen diese Gleichungen über in

$$\left.\begin{array}{l} a_1+v_1=(f_0+\Delta f)\,\mathrm{tg}\,(\alpha_1+\varphi)\mp(f_0+\Delta f)\frac{\varphi}{\varrho} \\ a_2+v_2=(f_0+\Delta f)\,\mathrm{tg}\,(\alpha_2+\varphi)\mp(f_0+\Delta f)\frac{\varphi}{\varrho} \\ \cdots\cdots\cdots\cdots \\ a_n+v_n=(f_0+\Delta f)\,\mathrm{tg}\,(\alpha_n+\varphi)\mp(f_0+\Delta f)\frac{\varphi}{\varrho} \end{array}\right\}.$$

In linearer Form geschrieben lauten die Gleichungen so:

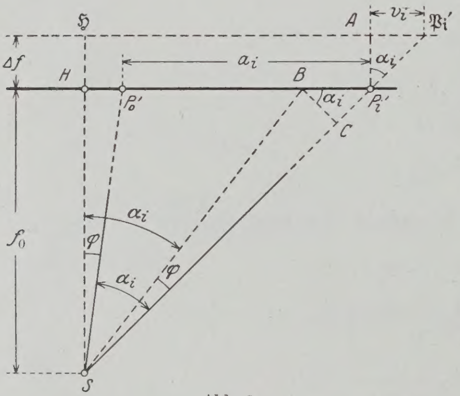


Abb. 3.

$$\left.\begin{array}{l} a_1+v_1=f_0\,\mathrm{tg}\,\alpha_1+\mathrm{tg}\,\alpha_1\,\Delta f\pm f_0\,\mathrm{tg}^2\,\alpha_1\frac{\varphi}{\varrho} \\ a_2+v_2=f_0\,\mathrm{tg}\,\alpha_2+\mathrm{tg}\,\alpha_2\,\Delta f\pm f_0\,\mathrm{tg}^2\,\alpha_2\frac{\varphi}{\varrho} \\ \cdots\cdots\cdots\cdots \\ a_n+v_n=f_0\,\mathrm{tg}\,\alpha_n+\mathrm{tg}\,\alpha_n\,\Delta f\pm f_0\,\mathrm{tg}^2\,\alpha_n\frac{\varphi}{\varrho} \end{array}\right\} \qquad 10)$$

oder in anderer Form geschrieben:

$$\left.\begin{array}{l} v_1=A_1\,\Delta f+B_1\,\varphi+w_1 \\ v_2=A_2\,\Delta f+B_2\,\varphi+w_2 \\ \cdots\cdots\cdots \\ v_n=A_n\,\Delta f+B_n\,\varphi+w_n \end{array}\right\}, \qquad 11)$$

wobei

$$A_i=\mathrm{tg}\,\alpha_i, \qquad B_i=\pm\frac{f_0\,\mathrm{tg}^2\,\alpha_i}{\varrho} \qquad \text{und} \qquad w_i=f_0\,\mathrm{tg}\,\alpha_i-a_i. \qquad 12)$$

Die linearen Fehlergleichungen 10) erhält man auch auf Grund einer Figur. Verändert man nur $a_i$ (Abb. 3) entsprechend einer Veränderung $\Delta f$ um $v_i$, so kommt der Punkt $P_i'$ nach $\mathfrak{P}_i'$ und es ist

$$a_i+v_i=HP_i'+A\mathfrak{P}_i'-HP_0'.$$

Da

$$HP_i' = HB + BP_i' = f_0 \operatorname{tg}\alpha_i + \frac{BC}{\cos\alpha_i} = f_0 \operatorname{tg}\alpha_i + \frac{\varphi}{\varrho}\frac{SB}{\cos\alpha_i} = f_0 \operatorname{tg}\alpha_i + \frac{\varphi}{\varrho}\frac{f_0}{\cos^2\alpha_i},$$

$$A\mathfrak{P}_i' = \Delta f \operatorname{tg}\alpha_i \quad \text{und} \quad HP_0' = \frac{\varphi}{\varrho} f_0,$$

o ist

$$a_i + v_i = f_0 \operatorname{tg}\alpha_i + \frac{\varphi}{\varrho}\frac{f_0}{\cos^2\alpha_i} + \Delta f \operatorname{tg}\alpha_i - \frac{\varphi}{\varrho} f_0$$

oder

$$a_i + v_i = f_0 \operatorname{tg}\alpha_i + \operatorname{tg}\alpha_i \Delta f \pm f_0 \operatorname{tg}^2\alpha_i \frac{\varphi}{\varrho}.$$

Diese Gleichung hat aber die Form der Gleichungen 10).

Benutzt man die Fehlergleichungen 11) zu einer Ausgleichung nach vermittelnden Beobachtungen, und bezeichnet man die Gewichte der Beobachtungen mit $p_1, p_2 \ldots p_n$, so ergeben sich die Unbekannten $\Delta f$ und $\varphi$ auf Grund der Normalgleichungen

$$\left.\begin{aligned} [pAA]\Delta f + [pAB]\varphi + [pAw] = 0 \\ [pAB]\Delta f + [pBB]\varphi + [pBw] = 0 \end{aligned}\right\}. \qquad 13)$$

Ein Vergleich dieser Gleichungen mit den oben gefundenen Normalgleichungen 8) zeigt, daß man

$$p_i = \frac{1}{1 + C_i^2}, \quad \text{wobei} \quad C_i = \frac{f_0}{\varrho \cos^2\alpha_i}, \qquad 14)$$

etzen muß.

Führt man die Ausgleichung auf Grund der Normalgleichungen 13) unter Beachtung der Gleichung 14) durch, so erhält man den mittleren Fehler $\mu_0$ der Gewichtseinheit, den mittleren Fehler $\mu_f$ von $f$ und den mittleren Fehler $\mu_\varphi$ von $\varphi$ in bekannter Weise aus

$$\mu_0 = \sqrt{\frac{[pvv]}{n-2}}, \qquad 15)$$

$$\mu_f = \frac{\mu_0}{\sqrt{p_f}} \quad \text{und} \quad \mu_\varphi = \frac{\mu_0}{\sqrt{p_\varphi}}, \qquad 16)$$

wobei

$$p_f = \left[\frac{AA}{1+C^2}\right] - \frac{\left[\frac{AB}{1+C^2}\right]\left[\frac{AB}{1+C^2}\right]}{\left[\frac{BB}{1+C^2}\right]} \quad \text{und} \quad p_\varphi = \left[\frac{BB}{1+C^2}\right] - \frac{\left[\frac{AB}{1+C^2}\right]\left[\frac{AB}{1+C^2}\right]}{\left[\frac{AA}{1+C^2}\right]}. \qquad 17)$$

Die Gewichte $p_f$ und $p_\varphi$ sind um so größer, je kleiner $\left[\frac{AB}{1+C^2}\right]$. Benützt man für die Punkte $P_1, P_2 \ldots P_n$ künstlich — z. B. durch Fluchtstäbe — bezeichnete Punkte, und wählt man diese paarweise symmetrisch zu $SP_0$ bzw. $SH$ (Abb. 1), so wird mit Rücksicht auf die verschiedenen Vorzeichen von $B_i$ (vgl. die Gleichungen 3)) $\left[\frac{AB}{1+C^2}\right] \approx 0$. Es ist dann $p_f \approx \left[\frac{AA}{1+C^2}\right]$ und $p_\varphi \approx \left[\frac{BB}{1+C^2}\right]$; $\left[\frac{AA}{1+C^2}\right]$ und $\left[\frac{BB}{1+C^2}\right]$ werden aber für eine bestimmte Zahl von Punktpaaren — wie die Gleichungen 5) zeigen — um so größer, je größer die Winkel $\alpha_i$ sind. Man wählt deshalb die z. B. durch Fluchtstäbe zu bezeichnenden Punktpaare $P_1', P_1''$; $P_2', P_2'' \ldots P_n', P_n''$

(Abb. 4) in einer Geraden symmetrisch zu einem Punkt $Q$, und den Instrumentstand punkt $S$ auf der Senkrechten in $Q$ derart, daß die Bilder der beiden äußerste Punkte $P_1'$ und $P_1''$ möglichst am Rande der Platte liegen, und daß die Abstände $P_1' P$ bzw. $P_1'' P_n''$ der äußersten und innersten Punkte $P_1'$, $P_1''$ bzw. $P_n'$, $P_n''$ nur klein sind Für die Aufnahme des Bildes stellt man die Kammer so ein, daß ihre Achse durc

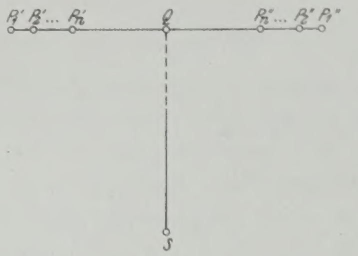



Abb. 4.

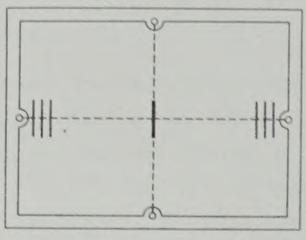


Abb. 5.

$Q$ geht, das Bild von $Q$ also — wenigstens genähert — in der Vertikalen durch de Bildhauptpunkt $H$ liegt. Mit Rücksicht auf die Messung der Abstände zwischen de Bild von $Q$ einerseits und den Bildern von $P_1'$, $P_2' \ldots P_n'$ sowie $P_1''$, $P_2'' \ldots P_n''$ anderer seits wählt man für die Aufnahme ein ungefähr horizontales Gelände; das Bild sieh dann so aus wie die Abb. 5 zeigt.

Wählt man die im Bilde festzulegenden Punkte in der angegebenen Weise, s sind die Winkel $\alpha_1', \alpha_2' \ldots \alpha_n'$; $\alpha_1'', \alpha_2'' \ldots \alpha_n''$ und damit die auf Grund der Gleichung 5 zu berechnenden $C$-Werte alle ungefähr gleich groß; man kann dann bei den Normal gleichungen 13) die Gewichte vernachlässigen und die Gleichungen — abgesehen vo Vorzeichen — so schreiben

$$\left.\begin{aligned} [AA]\,\Delta f + [AB]\,\varphi &= A_1 w_1 + A_2 w_2 + \cdots + A_n w_n\,, \\ [AB]\,\Delta f + [BB]\,\varphi &= B_1 w_1 + B_2 w_2 + \cdots + B_n w_n\,. \end{aligned}\right\} \qquad 18)$$

Außer den mittleren Fehlern $\mu_f$ und $\mu_\varphi$ von $f$ und $\varphi$ ist auch noch von Interess der mittlere Fehler $\mu_x$ (Abb. 1) von

$$H P_0' = x = f \operatorname{tg} \varphi = f \frac{\varphi}{\varrho}\,. \qquad 19)$$

Setzt man in den Gleichungen 18) $[AB] \approx 0$, so erhält man aus ihnen

$$\left.\begin{aligned} [AA]\,df &= A_1\,dw_1 + A_2\,dw_2 + \cdots + A_n\,dw_n\,, \\ [BB]\,d\varphi &= B_1\,dw_1 + B_2\,dw_2 + \cdots + B_n\,dw_n \end{aligned}\right\} \qquad 20)$$

und damit auf Grund des Fehlerfortpflanzungsgesetzes

$$\mu_f = \frac{\mu_0}{\sqrt{[AA]}} \quad \text{und} \quad \mu_\varphi = \frac{\mu_0}{\sqrt{[BB]}}\,, \qquad 21)$$

wobei $\mu_0$ der mittlere Fehler einer der nahezu gleich genauen Beobachtungen $w_1$ $w_2 \ldots w_n$ ist.

Auf Grund der aus 19) sich ergebenden Gleichung

$$dx = \frac{\varphi}{\varrho}\,df + \frac{f}{\varrho}\,d\varphi$$

und der Gleichungen 20) erhält man

$$dx = \left(\frac{A_1}{[AA]}\frac{\varphi}{\varrho} + \frac{B_1}{[BB]}\frac{f}{\varrho}\right) dw_1 + \left(\frac{A_2}{[AA]}\frac{\varphi}{\varrho} + \frac{B_1}{[BB]}\frac{f}{\varrho}\right) dw_2 + \cdots$$
$$+ \left(\frac{A_n}{[AA]}\frac{\varphi}{\varrho} + \frac{B_n}{[BB]}\frac{f}{\varrho}\right) dw_n\,,$$

oder wenn man zu den mittleren Fehlern übergeht

$$\mu_x = \mu_0 \sqrt{\frac{1}{[AA]}\frac{\varphi^2}{\varrho^2} + \frac{1}{[BB]}\frac{f^2}{\varrho^2}}.$$

An Stelle dieser Gleichung kann man aber mit Rücksicht auf die Gleichungen 21) auch schreiben

$$\mu_x = \sqrt{\left(\frac{\varphi}{\varrho}\mu_f\right)^2 + \left(\frac{f}{\varrho}\mu_\varphi\right)^2}. \qquad 22)$$

Diese Gleichung zur Berechnung von $\mu_x$ erhält man aber unter den gemachten Voraussetzungen in einfachster Weise unmittelbar aus der Gleichung 19).

Nach dem im vorstehenden angegebenen Verfahren wurde die Kammer eines Phototheodolits älterer Bauart von C. Zeiss mit der Plattengröße 13 × 18 cm untersucht, für die die Bildweite $f$ mit 194,12 mm am Instrument angegeben ist. Es wurden dabei im ganzen sechs Punkte benützt, von denen je drei rechts und links von der Kammerachse lagen. Die Messung der Winkel $\alpha_1$ bis $\alpha_6$ und der Bildabstände $a_1$ bis $a_6$ ergab die folgenden Werte:

| Nr. | Punktlage | $\alpha$ | $a$ mm |
|---|---|---|---|
| 1 | rechts | 19° 48′ 57″ | $69{,}97_5$ |
| 2 | „ | 20° 49′ 32″ | 73,85 |
| 3 | „ | 21° 49′ 07″ | 77,74 |
| 4 | links | 19° 49′ 12″ | 69,94 |
| 5 | „ | 20° 49′ 39″ | 73,82 |
| 6 | „ | 21° 49′ 25″ | $77{,}71_5$ |

Damit erhält man mit dem Näherungswert $f_0 = 194{,}00$ mm auf Grund der Gleichungen 11) und 12) die Fehlergleichungen[1]

$$\begin{aligned}
v_1 &= 0{,}36033\,\Delta f + 0{,}01221\,\varphi - 7{,}0\,,\\
v_2 &= 0{,}38038\,\Delta f + 0{,}01361\,\varphi - 5{,}5\,,\\
v_3 &= 0{,}40035\,\Delta f + 0{,}01507\,\varphi - 7{,}0\,,\\
v_4 &= 0{,}36042\,\Delta f - 0{,}01222\,\varphi - 2{,}0\,,\\
v_5 &= 0{,}38042\,\Delta f - 0{,}01361\,\varphi - 2{,}0\,,\\
v_6 &= 0{,}40045\,\Delta f - 0{,}01508\,\varphi - 3{,}0\,,
\end{aligned}$$

in denen $\Delta f$ in 0,01 mm und $\varphi$ in Sekunden zu nehmen ist.

Für die Gewichte findet man an Hand der Gleichung 14) die Werte

$$\begin{aligned}
p_1 &= 0{,}98883\,, & p_2 &= 0{,}98855\,, & p_3 &= 0{,}98823\,,\\
p_4 &= 0{,}98883\,, & p_5 &= 0{,}98855\,, & p_6 &= 0{,}98823\,.
\end{aligned}$$

Damit ergeben sich die Normalgleichungen

$$\begin{aligned}
0{,}859801\,\Delta f - 0{,}000009\,\varphi - 9{,}98388 &= 0\,,\\
-0{,}000009\,\Delta f + 0{,}001111\,\varphi - 0{,}16701 &= 0\,.
\end{aligned}$$

Löst man diese nach $\Delta f$ und $\varphi$ auf, so findet man

$$\Delta f = +0{,}116 \text{ mm}, \qquad \text{also} \qquad f = 194{,}12 \text{ mm}$$

[1] Die Zahlenwerte sind im folgenden wegen des Vergleichs von zwei verschiedenen Rechnungen — mit und ohne Gewichte — genauer angegeben als dies vom praktischen Standpunkt aus nötig ist.

und

$$\varphi = +150'',47 = +2'\,30'', \quad \text{also} \quad x = +0{,}14 \text{ mm}.$$

Für die mittleren Fehler $\mu_f$ und $\mu_\varphi$ von $f$ und $\varphi$ erhält man

$$\mu_f = \pm 0{,}01 \text{ mm} \quad \text{und} \quad \mu_\varphi = \pm 24''.$$

Berechnet man den mittleren Fehler $\mu_x$ von $x$ in der strengen Form, so ergibt sich $\mu_x = \pm 0{,}02$ mm; genau denselben Wert erhält man auf Grund der Näherungsgleichung 22).

Das Ergebnis der ganzen Messung ist demnach

$$f = 194{,}12 \pm 0{,}01 \text{ mm} \quad \text{und} \quad x = +0{,}14 \pm 0{,}02 \text{ mm}.$$

Nimmt man die nahezu gleichen Gewichte als genau gleich groß an, so ergeben sich auf Grund der oben mitgeteilten Fehlergleichungen die Normalgleichungen

$$0{,}869\,789\,\Delta f - 0{,}000\,009\,\varphi - 10{,}099\,88 = 0\,,$$
$$-0{,}000\,009\,\Delta f + 0{,}001\,124\,\varphi - 0{,}168\,95 = 0\,.$$

Damit findet man

$$\Delta f = +0{,}116 \text{ mm}, \quad \text{also} \quad f = 194{,}12 \text{ mm}$$

und

$$\varphi = +150'',46 = +2'\,30'', \quad \text{also} \quad x = +0{,}14 \text{ mm},$$
$$\mu_f = \pm 0{,}01 \text{ mm}, \quad \mu_\varphi = \pm 24'' \quad \text{und} \quad \mu_x = \pm 0{,}02 \text{ mm}.$$

Man erhält also genau dieselben Werte für den Fall, daß man die Gewichte berücksichtigt oder nicht[1].

Zum Schluß ist noch zu bemerken, daß man das oben angegebene Verfahren auch zur Bestimmung des Bildhauptpunktes in vertikalem Sinn benutzen kann; man stellt dabei den Phototheodolit auf einer Fensterbank in einem mittleren Stockwerk eines Gebäudes auf und wählt die symmetrisch liegenden, passend zu bezeichnenden Punktpaare an einer gegenüberliegenden Gebäudewand.

---

# Probeprismen zur Prüfung von Refraktometern.

Von

Dr. **Robert Richter**

Ein Refraktometer (Abb. 1) dient bekanntlich zur Bestimmung der Brechungsverhältnisse fester und flüssiger Stoffe. Es besteht aus einem Glaskörper, der mit einer ebenen Tragfläche für den zu untersuchenden Stoff versehen ist, aus einem Beobachtungsfernrohr und einer Skala. Das Licht tritt streifend in die Tragfläche ein oder wird an derselben total reflektiert, so daß die Grenzlinie der Totalreflexion im Beobachtungsfernrohr erscheint. Im Gesichtsfeld des Beobachtungsfernrohrs befindet sich eine Strichmarke, die auf die Grenzlinie eingestellt wird, indem sie selbst oder der Glaskörper oder das Beobachtungsfernrohr oder schließlich ein zwischengeschaltetes Drehkeilpaar meßbar verstellt wird. Die Verstellung wird auf der Skala abgelesen und gibt das Brechungs-

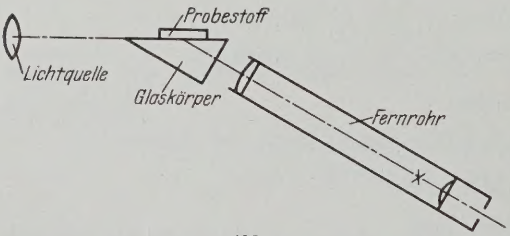



Abb. 1.

[1] Der Wert von $f$ stimmt außerdem genau mit dem von der Firma C. Zeiss angegebenen überein.

verhältnis des Stoffes an. Zuweilen wird die Skala auf Glas geteilt und an Stelle der Strichmarke im Gesichtsfeld des Beobachtungsfernrohrs angebracht, so daß die Lage der Grenzlinie unmittelbar abgelesen werden kann.

Die Richtigkeit der Skala und insbesondere die Lage ihres Nullpunktes wird mit Hilfe von Probestoffen geprüft, deren Brechungsverhältnis genau bekannt ist. Man verwendet zu diesem Zwecke das Wasser mit einem Brechungsverhältnis $n_D = 1{,}33300$ bei $20^0$, dessen Temperaturgang berücksichtigt wird, ferner Flußspat $n_D = 1{,}43383$, und die optischen Gläser, deren Brechungsverhältnisse $n_D$ zwischen 1,465 und 1,923 liegen, wie wir dem Glaskatalog von Schott & Gen. in Jena entnehmen. Zur Ausfüllung der Lücken in der Reihe dieser Probestoffe kommen einige Flüssigkeiten, beispielsweise Lösungen von Salzen, in Betracht; sie haben aber den Nachteil, daß ihr Brechungsverhältnis nicht konstant gehalten werden kann, da es von der Konzentration abhängt, so daß sie sich nur für Prüfungen mit geringerer Genauigkeit verwenden lassen. Ein anderes Hilfsmittel zur Ausfüllung der Lücken wird ausführlich im folgenden beschrieben, es ist zudem durch die Deutsche Patentschrift Nr. 469957 in Kürze bekannt gegeben.

Die Lichtstrahlen, welche die Grenzlinie der Totalreflexion bilden, treten aus dem Probestoff mit dem Brechungsverhältnis $N$ streifend in die Tragfläche des Glaskörpers ein; der Winkel, den sie mit der Flächennormalen bilden, beträgt also $90^0$, und die optische Invariante dieser Strahlen hat den Wert $N \sin 90^0 = N$. Der Wert der optischen Invariante ist maßgebend für die Richtung der Lichtstrahlen im Glaskörper und weiterhin im Beobachtungsfernrohr. Wird der Probestoff $N$ durch einen anderen $n$ ersetzt und den Lichtstrahlen in diesem eine solche Neigung $i$ gegen die Normale der Trägfläche gegeben, daß wiederum $n \sin i = N$ wird, so ist im Beobachtungsfernrohr kein Unterschied zwischen den Probestoffen $N$ und $n$ zu bemerken. Es handelt sich nun noch darum, den Lichtstrahlen die vorgeschriebene Neigung $i = \arcsin \frac{N}{n}$ zu geben. Man versieht zu dem Zwecke den Probestoff $n$ mit einer zweiten ebenen Fläche, die mit der ersten die Tragfläche berührenden Fläche den Prismenwinkel $\alpha$ bildet, und läßt das Licht streifend in jene zweite Fläche einfallen, wie aus Abb. 2 ersichtlich. Eine einfache Überlegung zeigt, daß der Prismenwinkel

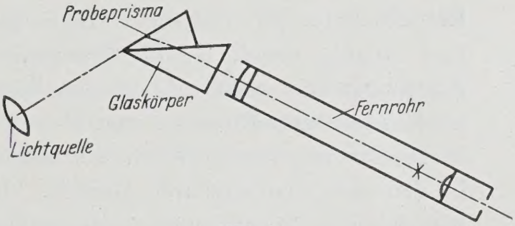


Abb. 2.

$$\alpha = \arcsin \frac{N}{n} - \arcsin \frac{1}{n}$$

sein muß, damit die streifend einfallenden Lichtstrahlen im Probestoff $n$ mit der Neigung $i = \arcsin \frac{N}{n}$ gegen die Normale der Tragfläche verlaufen. Das auf diese Weise konstruierte Probeprisma mit dem Brechungsverhältnis $n$ ersetzt daher einen Probestoff mit dem Brechungsverhältnis $N$, und es wird möglich, die flüssigen Probestoffe ganz zu vermeiden und an ihrer Stelle Probeprismen aus haltbaren optischen Gläsern zu verwenden.

Das Brechungsverhältnis des Glaskörpers des Refraktometers hat bei unseren Überlegungen keine Rolle gespielt, die Probeprismen behalten ihre Eigenschaft daher bei jedem beliebigen Refraktometer. Sie unterscheiden sich von den natürlichen Probe-

stoffen lediglich dadurch, daß sie besonders ausgerichtet werden müssen; die Prismenkante muß senkrecht zur Richtung der Lichtstrahlen stehen. Bei den gemachten Versuchen zeigte es sich, daß es genügt, die Prismen nach Augenmaß auszurichten. Es ist aber auch möglich, die Prismen genauer zu orientieren, da die richtige Lage der Grenzlinie der Totalreflexion eine Maximaleigenschaft hat; die Probeprismen werden so ausgerichtet, daß die Grenzlinie im Beobachtungsfernrohr einen möglichst großen Skalenwert anzeigt.

Als Beispiel diene ein Probeprisma aus Bor-Kron 7 von Schott & Gen. mit dem Brechungsverhältnis $n_D = 1{,}51625$, das einen Probestoff vom Brechungsverhältnis des Wassers $N_D = 1{,}33300$ ersetzen soll. Man findet, daß der Prismenwinkel $\alpha = 20{,}^{\circ}277$ sein muß. Wird das Prisma aus Flint 2 mit dem Brechungsverhältnis $n_D = 1{,}61992$ hergestellt, so wird der Prismenwinkel $\alpha = 17{,}^{\circ}253$.

Als Ersatz für Flußspat mit einem Brechungsverhältnis $N_D = 1{,}43383$ erhält man aus den beiden genannten Glassorten zwei Prismen mit den Prismenwinkeln $\alpha = 29{,}^{\circ}760$ bzw. $\alpha = 24{,}^{\circ}145$.

Die Farbenzerstreuung der Stoffe wird durch die Abbesche Zahl $\nu = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}$ gekennzeichnet. Die beiden benutzten Glasarten haben $\nu$-Werte von 64,0 bzw. 36,3, der $\nu$-Wert des Wassers ist gleich 55,4, und der des Flußspats ist, ungewöhnlich groß, gleich 95,4.

Infolge der Farbenzerstreuung erscheint die Grenzlinie der Totalreflexion farbig, sobald mit weißem Licht beleuchtet wird, und man begegnet dem am besten durch Verwendung monochromatischen Lichtes, namentlich da, wo es sich um genaue Prüfungen handelt. Die Anwendung weißen Lichtes ist jedoch andererseits wieder so bequem, daß die Mehrzahl der im Gebrauch befindlichen Refraktometer mit einer Vorrichtung versehen sind, um die Grenzlinie zu achromatisieren. Zu dem Zweck enthält das Refraktometer ein für die $D$-Linie gradsichtiges Amicisches Dispersionsprisma, das man solange dreht, bis die Grenzlinie farblos erscheint, und mißt damit trotz der Benutzung von weißem Licht den Wert des Brechungsverhältnisses für die $D$-Linie. Die Eintauchrefraktometer von Carl Zeiss in Jena sind in dieser Weise konstruiert. Stoffe mit extremem $\nu$-Wert, wie beispielsweise der Flußspat, liegen jedoch nicht mehr in dem achromatisierbaren Bereich, und es ist daher von Interesse zu untersuchen, wie sich die Probeprismen in dieser Beziehung verhalten.

Hat das Probeprisma den Prismenwinkel $\alpha$ und das Glas, aus dem es hergestellt ist, die Brechungsverhältnisse $n_C$, $n_D$ und $n_F$ für die Farben $C$, $D$ und $F$, so ersetzt dasselbe einen Probestoff mit den Brechungsverhältnissen $N_C$, $N_D$ und $N_F$, die sich aus den Gleichungen

$$N_C = n_C \sin\left(\alpha + \arcsin\frac{1}{n_C}\right) \text{ usw.}$$

berechnen lassen. Der $\nu$-Wert des Probestoffes $N$ ist dann gleich $\frac{N_D - 1}{N_F - N_C}$. Bei den oben als Beispiele angegebenen Probeprismen finden wir auf diese Weise die $\nu$-Werte 90,7, 51,9, 80,3 und 49,0. Es ist also möglich, den Flußspat durch ein Probeprisma von gleichem mittleren Brechungsverhältnis, aber wesentlich niedrigerem $\nu$-Wert zu ersetzen, der im Bereich der $\nu$-Werte wäßriger Lösungen liegt.

# Elementare Theorie der Elektrometer, insbesondere des Fadenelektrometers.

Von
**Eligio Perucca** in Turin.

§ 1. Wir betrachten den Fall eines Elektrometers mit Hilfsspannung, zur Messung sehr kleiner Potentialdifferenzen $V_x$. Sei $x$ der Parameter, welcher die Lage der Nadel (oder des Blättchens, oder des Fadens) bestimmt. Dann ist $x$ eine Funktion von $V_x$: wenn $V_x = 0$ ist, sei $x = 0$; wir beschränken uns auf den Fall, daß $V_x$ und $x$ sehr kleine Größen sind.

Es sei $2\,V_0$ die Hilfsspannung; das Elektrometer kann bei heterostatischer Fadenschaltung (Mascart-Schaltung) oder bei heterostatischer Plattenschaltung (Thomson-Schaltung) verwendet werden. Bei der Fadenschaltung (Nadelschaltung, Blättchenschaltung) wird $V_x$ zwischen dem beweglichen Faden und dem Gehäuse des Elektrometers zugeführt; den Platten (oder Quadranten) werden die Hilfspotentiale $+V_0$ bzw. $-V_0$ zugeleitet. Bei der Plattenschaltung (Quadrantenschaltung) wird $V_x$ zwischen einer Platte und dem Gehäuse zugeführt; die andere Platte ist mit dem Gehäuse ($V = 0$) verbunden; der Faden hat das Hilfspotential $2\,V_0$.

Zweck dieser Arbeit ist, die Formeln für den Nadelausschlag $x$ anzugeben, und zwar sowohl bei Fadenschaltung, als bei Plattenschaltung; sowohl bei dem Blättchenelektrometer, als auch bei dem Fadenelektrometer.

Wenn man diese Formeln mit den für das Quadrantenelektrometer schon bekannten vergleicht, so tritt sowohl bei dem Blättchenelektrometer wie bei dem Fadenelektrometer eine Asymmetrie der beiden Schaltungen auf. Eine entsprechende Asymmetrie fehlt bei dem Quadrantenelektrometer.

So viel ich weiß, ist diese Asymmetrie noch nicht bemerkt worden; sie besteht in einer verschiedenen Empfindlichkeit der beiden Schaltungen.

In dieser Hinsicht haben das Quadrantenelektrometer, das Blättchenelektrometer und das Fadenelektrometer (und mehr noch das Peruccasche Fadenelektrometer[1] und das Lindemann und Keeleysche Fadenelektrometer[2]) jedes ein ganz charakteristisches Verhalten.

Man bemerke, daß die höhere Empfindlichkeit der einen Schaltung gegenüber der anderen keinen Grund zur Bevorzugung bildet. Durch einfaches Verschieben der Platten in beiden Elektrometern von Lutz-Wulf[3] und von Perucca, durch einfache Regulierung des Potentiometers beim Elektrometer von Lindemann und Keeley, kann man die gewünschte Empfindlichkeit, sowohl bei Fadenschaltung als bei Plattenschaltung, erreichen.

Andere Gründe (bequemere Montierung der Apparatur, geringere Kapazität, kleinere störende Einwirkung des Beobachtungsmikroskops auf den Faden, ....) veranlassen die Bevorzugung der einen oder der anderen Schaltung. Gewöhnlich gibt man der Fadenschaltung den Vorzug.

§ 2. Quadrantenelektrometer. Schematisch[4] ist die Nadel eine in ihrer Ebene, längs der Achse $x$ verschiebbare Platte $AB$; diese Platte ist $2a$ breit, und, normal zur

[1] *Diese Zeitschr.* **47.** *S. 524. 1927; Zeitschr. f. Physik* **49.** *S. 604. 1928.*
[2] *Phil. Mag.* **47.** *S. 477. 1924.*
[3] Vgl. z. B. *Physikal. Zeitschr.* **24.** *S. 166. 1923.*
[4] J. J. Thomson, *Elements of mat. Theory of Electricity. 1921. S. 72.*

Zeichnungsebene, $l$ lang; *1* und *2* sind die Platten (Quadranten); $d$ der Abstand zwischen Nadel und Platten.

Der Nadel wird eine elastische Kraft $F_e = -\varkappa^2 \cdot x$ auf die Einheit der Länge $l$ zugeführt, so daß für $x = 0$ ($AB$ symmetrisch zu den Quadranten) und $V_x = 0$ die Nadel sich im stabilen Gleichgewicht befindet. Wir vernachlässigen die Randstörungen.

1. Fadenschaltung (Nadelschaltung). *1* (Abb. 1) hat das Potential $+V_0$; *2* hat das Potential $-V_0$; die Nadel hat das unbekannte Potential $V_x$.

Die Energie des Kondensators Nadel-Platten ist auf die Einheit der Länge $l$:

$$W = \frac{1}{8\pi} \cdot \frac{(V_0 - V_x)^2}{d^2} \cdot d \cdot (a - x) + \frac{1}{8\pi} \cdot \frac{(V_0 + V_x)^2}{d^2} \cdot d \cdot (a + x).$$

Daher ist die elektrostatische ponderomotorische Kraft $F$ für die Einheit der Länge $l$, bei konstanten Potentialen:

$$F = \frac{dW}{dx} = -\frac{1}{8\pi} \cdot \frac{(V_0 - V_x)^2}{d} + \frac{1}{8\pi} \frac{(V_0 + V_x)^2}{d}.$$

Es ergibt sich als Gleichgewichtsbedingung:

$$F_e + F = 0.$$

Wenn wir bis zu den Gliedern der ersten Ordnung in $V_x$ entwickeln, finden wir

$$-\varkappa^2 \cdot x + \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{V_0 V_x}{d} = 0,$$

und endlich haben wir die Gleichgewichtslage für:

$$x = x_f = \frac{V_0 V_x}{2\pi d \varkappa^2}. \qquad 1)$$

2. Plattenschaltung (Quadrantenschaltung). *1* (Abb. 2) hat das unbekannte kleine Potential $V_x$, *2* ist geerdet ($V = 0$). Die Nadel hat das Hilfspotential $2V_0$.

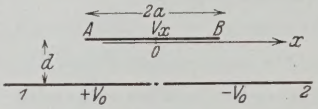



Abb. 1.

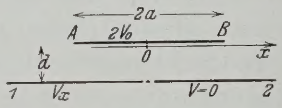



Abb. 2.

Die Energie des Kondensators Nadel-Platten ist für die Einheit der Länge $l$:

$$W = \frac{1}{8\pi} \cdot \frac{(2V_0 - V_x)^2}{d^2} \cdot d \cdot (a - x) + \frac{1}{8\pi} \cdot \frac{(2V_0)^2}{d^2} \cdot d \cdot (a + x).$$

Daher ist nun:

$$F = \frac{dW}{dx} = -\frac{1}{8\pi} \cdot \frac{(2V_0 - V_x)^2}{d} + \frac{1}{8\pi} \cdot \frac{(2V_0)^2}{d}.$$

Wenn wir bis zur ersten Ordnung entwickeln, erhalten wir die Gleichgewichtsbedingung:

$$-\varkappa^2 x + \frac{1}{2\pi} \frac{V_0 V_x}{d} = 0;$$

d. h., es ist die Gleichgewichtslage in der Plattenschaltung durch

$$x = x_p = \frac{V_0 V_x}{2\pi d \cdot \varkappa^2} = x_f \qquad 2)$$

bestimmt.

In dem Quadrantenelektrometer sind die beiden Schaltungen gleichwertig; diese ist eine schon bekannte Eigenschaft.

§ 3. Blättchenelektrometer. Das ebene Blatt $AB$ (Abb. 3) bildet den parallel zu sich selbst in Richtung der Achse $x$ beweglichen Teil des Elektrometers; $d$ ist der Abstand zwischen den beiden Platten *1* und *2*; wenn $V_x = 0$ ist, so ist $A_0 B_0$ $(x = 0)$ in gleicher Entfernung von denbeiden Platten die Ruhelage des Blattes. $F_e = -\varkappa^2 \cdot x$ ist die zur Gleichgewichtsstabilität nötige elastische Kraft für die Flächeneinheit.

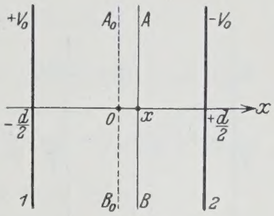


Abb. 3.

1. Fadenschaltung (Blättchenschaltung). Die Platten *1* und *2* haben die Potentiale $+V_0$ bzw. $-V_0$. Das Blatt $AB$ hat das Potential $V_x$. Man könnte wie im vorhergehenden Falle die elektrostatische ponderomotorische Kraft aus dem Energieausdruck ableiten. Aber man kann auch in direkterer und einfacherer Weise vorgehen.

Das Blättchen unterliegt auf die Flächeneinheit den Kräften:

$$F_e = -\varkappa^2 \cdot x.$$

Es ist $F_1$ dem Felde $\dfrac{V_0 - V_x}{\dfrac{d}{2} + x}$ zwischen $AB$ und *1* zuzuschreiben,

$F_2$ dem Felde $\dfrac{V_0 + V_x}{\dfrac{d}{2} - x}$ zwischen $AB$ und *2* zuzuschreiben.

Wenn $\sigma_1$ und $\sigma_2$ die elektrischen Dichten auf den beiden Seiten des Blattes bezeichnen, hat man:

$$F_1 = -2\pi\sigma_1^2 = -\frac{1}{8\pi}\frac{(V_0 - V_x)^2}{\left(\dfrac{d}{2} + x\right)^2},$$

$$F_2 = +2\pi\sigma_2^2 = \frac{1}{8\pi}\frac{(V_0 + V_x)^2}{\left(\dfrac{d}{2} - x\right)^2}.$$

Die Gleichgewichtsbedingung ist:

$$F_e + F_1 + F_2 = 0,$$

also:

$$-\varkappa^2 \cdot x - \frac{1}{8\pi} \cdot \frac{(V_0 - V_x)^2}{\left(\dfrac{d}{2} + x\right)^2} + \frac{1}{8\pi} \cdot \frac{(V_0 + V_x)^2}{\left(\dfrac{d}{2} - x\right)^2} = 0.$$

Daher ist, bis zur ersten Ordnung, die Blättchenverschiebung $x_f$ bei der Fadenschaltung:

$$x_f = \frac{2\,V_0\,V_x \cdot d}{\pi \cdot \varkappa^2 \cdot d^3 - 4\,V_0^2}. \tag{3}$$

Wenn man mit $C_1 = \dfrac{1}{\pi \cdot d}$ die Blättchenkapazität gegenüber den Platten für die Flächeneinheit bezeichnet, hat man auch:

$$x_f = \frac{2 \cdot V_0 \cdot V_x \cdot d}{\dfrac{\varkappa^2 \cdot d^2}{C_1} - 4\,V_0^2}. \tag{4}$$

2. Plattenschaltung. *1* (Abb. 4) hat das unbekannte kleine Potential $V_x$; *2* hat das Potential Null. Das Blättchen hat das Hilfspotential $2\,V_0$. Man verfährt genau wie im vorhergehenden Falle.

Die auf das Blatt für die Flächeneinheit einwirkenden Kräfte sind nun:

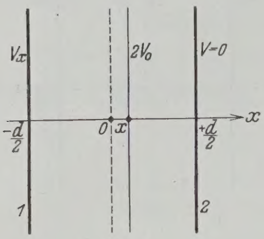



Abb. 4.

$$F_e = -\varkappa^2 \cdot x$$

$$F_1 = -\frac{1}{8\pi} \cdot \frac{(2\,V_0 - V_x)^2}{\left(\frac{d}{2} + x\right)^2},$$

$$F_2 = +\frac{1}{8\pi} \cdot \frac{(2\,V_0)^2}{\left(\frac{d}{2} - x\right)^2}.$$

Für das Gleichgewicht ist:

$$F_e + F_1 + F_2 = 0.$$

Wenn man bis zur ersten Ordnung entwickelt, so erhält man:

$$-8\pi \cdot \varkappa^2 \cdot x + 16 \cdot V_0^2 \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^{-3} \cdot x + 4 \cdot V_0 \cdot V_x \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^{-2} = 0,$$

daher ist die Verschiebung $x_p$, hervorgerufen durch $V_x$, bei Plattenschaltung:

$$x_p = \frac{2 \cdot V_0 \cdot V_x \cdot d}{\pi \cdot \varkappa^2 \cdot d^3 - 16 \cdot V_0^2}, \tag{5}$$

oder auch:

$$x_p = \frac{2 \cdot V_0 \cdot V_x \cdot d}{\frac{\varkappa^2 \cdot d^2}{C_1} - 16\,V_0^2}. \tag{6}$$

Wenn die Werte von $\varkappa^2$, $V_0$, $d$, $V_x$ festgestellt sind, ist also immer $x_p > x_f$, und da die Empfindlichkeiten der beiden Schaltungen den dem gleichen $V_x$ entsprechenden Werte von $x_p$ und $x_f$ proportional sind, so sind auch die Empfindlichkeiten der beiden Schaltungen verschiedene: die Plattenschaltung bei dem Blättchenelektrometer ist immer empfindlicher als die Fadenschaltung.

Und zwar erhält man aus 3) und 5):

$$\frac{x_p}{x_f} = 1 + 6\frac{V_0}{V_x} \cdot \frac{x_p}{d}. \tag{7}$$

Zahlenbeispiel. Es sei $V_0 = 36$ V; $d = 1$ cm; $V_x = 0{,}001$ V. Die elastische Kraft sei so klein, daß $x_p = 0{,}001$ cm entsteht.

Man hat dann

$$\frac{x_p}{x_f} = 217, \qquad \text{daher} \qquad x_f \sim 0{,}0000046 \text{ cm}.$$

Wenn die elastische Kraft $x_p = 0{,}0001$ cm ergeben hätte, würde man erhalten haben:

$$\frac{x_p}{x_f} = 22{,}5, \qquad \text{daher} \qquad x_f \sim 0{,}0000044 \text{ cm}.$$

Ein Blättchenelektrometer, welches sogar bei Plattenschaltung die Empfindlichkeit von 0,001 V mit einem zur Messung von $x$ bis auf nur 0,01 mm geeigneten Beobachtungsmikroskop erwarten läßt, muß ein Empfindlichkeitsverhältnis $\frac{x_p}{x_f}$ von ungefähr

200 aufweisen. So viel ich weiß, erreicht in der Praxis kein Blättchenelektrometer eine solche Empfindlichkeit.

Wenn das Elektrometer, um bei Plattenschaltung die Empfindlichkeit von 0,001 V zu erreichen, ein Beobachtungsmikroskop erfordert, das imstande ist, $x$ bis auf 0,004 mm zu messen, so beträgt das Empfindlichkeitsverhältnis $\frac{x_p}{x_f}$ noch ungefähr 80.

§ 4. Fadenelektrometer. Der zur Zeichnungsebene normale geradlinige Faden $A$ (Abb. 5) bildet die Nadel des Elektrometers. Der Faden ist zwischen den beiden Platten *1* und *2* sich selbst parallel, im Sinne der $x$-Achse beweglich; $d$ ist der Abstand zwischen den Platten; $a$ ist der Radius des Fadens; $\frac{a}{d}$ ist sehr klein.

Wenn $V_x = 0$ ist, so ist der Punkt $O$ in gleicher Entfernung von *1* und *2*, die Gleichgewichtslage des Fadens; $O$ ist der Ursprung der $x$-Achse. $F_e = -\varkappa^2\, x$ ist die zur Gleichgewichtsstabilität erforderliche elastische Kraft für die Längeneinheit des Fadens.

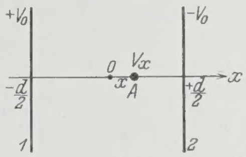


Abb. 5.

1. Fadenschaltung. (Abb. 5.) Ein geerdeter Leiter mit der Kapazität $C$, um $x$ in einem Felde $E$ verschoben, erleidet bei der darauf vom Felde induzierten Ladung eine Veränderung $E \cdot x \cdot C$, wenn man die Reaktion einer solchen Ladung auf das Feld als unbeträchtlich ansieht.

In unserem Falle, bei $x = 0$ ist die gesamte auf den Faden induzierte Ladung gleich Null. Die auf die Längeneinheit induzierte Ladung, wenn $x \neq 0$ ist, ist daher:

$$\frac{2\,V_0}{d} \cdot x \cdot C_1,$$

wo $C_1$ die Kapazität des Fadens zwischen den Platten für die Längeneinheit ist.

Da $x$ sehr klein ist, und andererseits $C_1$ bei $x = 0$ ein Minimum erreicht, kann man für $C_1$ den Wert

$$C_1 = \frac{1}{2 \log \frac{2}{\pi} \cdot \frac{d}{a}},$$

der der Lage $x = 0$ entspricht[1], annehmen.

Die induzierte Ladung ist also:

$$Q_1 = \frac{2\,V_0}{d} \cdot x \cdot C_1 = \frac{2\,V_0 \cdot x}{d} \cdot \frac{1}{2 \log \frac{2}{\pi} \cdot \frac{d}{a}}.$$

Außerdem nimmt der Faden, wenn er auf das Potential $V_x$ gebracht wird, für die Längeneinheit die Ladung

$$Q_2 = C_1 \cdot V_x = \frac{1}{2 \log \frac{2}{\pi} \cdot \frac{d}{a}} \cdot V_x$$

an.

Die auf den Faden einwirkenden Kräfte sind also:

$$F_e = -\varkappa^2 \cdot x; \quad F_1 = E \cdot Q_1 = \left(\frac{2\,V_0}{d}\right)^2 \cdot x \cdot C_1; \quad F_2 = E \cdot Q_2 = \frac{2\,V_0}{d} \cdot C_1 \cdot V_x.$$

Bei Gleichgewicht:

$$-\varkappa^2 \cdot x + \frac{4\,V_0^2}{d^2} \cdot x \cdot C_1 + \frac{2\,V_0}{d} \cdot C_1 \cdot V_x = 0,$$

[1] Vgl. Anhang.

also:

$$x_f = \frac{2 \cdot V_0 \cdot V_x \cdot d}{\varkappa^2 \cdot d^2 \cdot 2 \log \frac{2}{\pi} \cdot \frac{d}{a} - 4\, V_0^2}, \qquad 8)$$

oder auch:

$$x_f = \frac{2 \cdot V_0 \cdot V_x \cdot d}{\frac{\varkappa^2 \cdot d^2}{C_1} - 4 \cdot V_0^2}, \qquad 9)$$

in der Form identisch mit 4), was natürlich ist.

2. Plattenschaltung. Ich glaube, daß das einfachste Verfahren darin besteht, daß man zuerst die ponderomotorische Kraft $F_1$ berechnet, welche auf den Faden einwirkt, wenn beide Platten geerdet sind. Diese Kraft $F_1$ kann man aus der Einwirkung der unendlichen Bilder, die den beiden Platten *1* und *2* (Abb. 6) gleichwertig

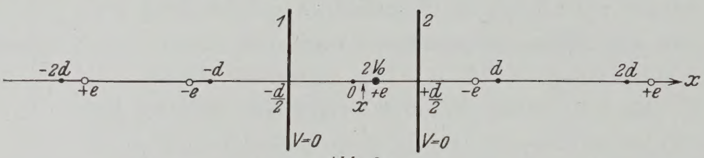



Abb. 6.

sind, ableiten. Wenn $e$ die Ladung für die Längeneinheit sowohl des Fadens wie auch eines jeden Bildes ist, so ist die Kraft $F_1$:

$$\begin{aligned} F_1 = & \frac{2e^2}{d - 2x} - \frac{2e^2}{2d} + \frac{2e^2}{3d - 2x} - \frac{2e^2}{4d} + \frac{2e^2}{5d - 2x} - \dots \\ & - \frac{2e^2}{d + 2x} + \frac{2e^2}{2d} - \frac{2e^2}{3d + 2x} + \frac{2e^2}{4d} - \frac{2e^2}{5d + 2x} + \dots \\ = & \, 2e^2 \left[ \frac{4x}{d^2 - 4x^2} + \frac{4x}{3^2 d^2 - 4x^2} + \frac{4x}{5^2 \cdot d^2 - 4x^2} + \dots \right]. \end{aligned}$$

Aus dieser Reihe kann man die Summe erhalten; es ergibt sich zu

$$F_1 = \frac{2e^2\pi}{d} \left\{ \frac{1}{2} \operatorname{ctg} \frac{x \cdot \pi}{d} - \operatorname{ctg} \frac{2x\pi}{d} \right\}.$$

Jedoch verlangt das physikalische Problem, daß $\frac{x}{d}$ sehr klein sei; wir beschränken uns daher auf die Glieder der ersten Ordnung, und erhalten einfacher:

$$F_1 = \frac{8e^2 x}{d^2} \left( \frac{1}{1^2} + \frac{1}{3^2} + \frac{1}{5^2} + \frac{1}{7^2} + \dots \right) = \frac{e^2 \cdot x \cdot \pi^2}{d^2},$$

denn die eingeklammerte Reihe ist gleich $\frac{\pi^2}{8}$.

Wenn aber $2\,V_0$ das Potential des Fadens ist, und $C_1$ seine Kapazität auf der Längeneinheit, so ist $e = 2 \cdot V_0 \cdot C_1$, also:

$$F_1 = \frac{4\pi^2 \cdot V_0^2 \cdot x}{d^2} \cdot C_1^2.$$

Wenn endlich zwischen den Platten die kleine Potentialdifferenz $V_x$ zugeführt wird (die Platte *2* hat noch das Nullpotential), steht der Faden unter der Einwirkung der Kraft $F_2$:

$$F_2 = e \cdot \frac{V_x}{d} = \frac{2 \cdot V_0 \cdot V_x}{d} \cdot C_1.$$

Bei Gleichgewicht zwischen der elastischen Kraft $F_e = -\varkappa^2 \cdot x$ und den ponderomotorischen elektrischen Kräften $F_1$ und $F_2$; muß

$$-\varkappa^2 \cdot x + \frac{4\pi^2 \cdot V_0^2 \cdot x}{d^2} \cdot C_1^2 + \frac{2 \cdot V_0 \cdot V_x}{d} \cdot C_1 = 0$$

sein. Deshalb ist:

$$x_p = \frac{2 \cdot V_0 V_x \cdot d}{\frac{\varkappa^2 \cdot d^2}{C_1} - 4 \cdot V_0^2 \cdot \pi^2 \cdot C_1} \qquad \left(C_1 = \frac{1}{2 \log \frac{2}{\pi} \cdot \frac{d}{a}}\right). \qquad 10)$$

Die Empfindlichkeit der Plattenschaltung gegenüber der der Fadenschaltung hängt von dem Werte von $\pi^2 \cdot C_1$ ab. Aus 9) und 10) hat man:

$$\frac{x_p}{x_f} = 1 + 2(\pi^2 \cdot C_1 - 1)\frac{V_0}{V_x} \cdot \frac{x_p}{d}, \qquad 11)$$

und dies Verhältnis ist $\gtreqless 1$, je nachdem $\pi^2 \cdot C_1 \gtreqless 1$ ist.

Bei dem Fadenelektrometer ist die Plattenschaltung gegenüber der Fadenschaltung mehr, weniger, oder gleich empfindlich, je nachdem:

$$C_1 > \frac{1}{\pi^2}; \qquad C_1 < \frac{1}{\pi^2}; \qquad C_1 = \frac{1}{\pi^2} \qquad 12)$$

ist.

§ 5. Bei den bis jetzt hergestellten Fadenelektrometern tritt bald der eine, bald der andere von diesen drei Fällen ein.

Das Lutz-Wulfsche Elektrometer eignet sich nicht für eine Versuchskontrolle der Formel 11), da die Plattenschaltung bei den großen Empfindlichkeiten nicht verwendbar ist; der Faden hat dann das Bestreben, auf das Beobachtungsmikroskop zu fallen.

Bei dem Elektrometer von Lindemann und Keeley ist wegen der eingeschnittenen Form der Platten die Kapazität $C_1$ schwer abzuschätzen; aber wir haben hier den Fall $\pi^2 \cdot C_1 < 1$ vor uns.

Das Peruccasche Elektrometer eignet sich besser für eine numerische Prüfung; in diesem Instrument hat man gewöhnlich $\pi^2 \cdot C_1 > 1$.

Die Nadel dieses Elektrometers wird durch ein Fadenpaar $n_1$, $n_2$ (Abb. 7) von 0,003 bis 0,004 cm Durchmesser ($a = 0{,}0015$ bis 0,0020 cm) dargestellt, welches sich zwischen den beiden parallelen Platten *1* und *2* befindet.

Die Nadel wird von einem Quarztorsionsfaden $c$ gehalten. Die Nadeldrehung wird mit einem auf den ganz feinen Index $i$ eingestellten Mikroskop beobachtet. Bei der neuesten Type, hat die Nadel nicht mehr die Form eines rechteckigen, sondern die eines fast dreieckigen Rahmens; was im Grunde nichts ändert. Man wird als Verschiebung $x$ die mittlere der verschiedenen Punkte der Nadel annehmen; sie beträgt daher die Hälfte der mit dem Mikroskop beobachteten.

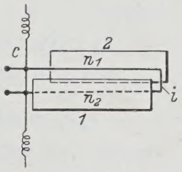


Abb. 7.

Die Kapazität $C_1$ für die Längeneinheit ist mit vollkommen ausreichender Annäherung[1] das Doppelte der Kapazität eines jeden Fadens.

Man hat außerdem: $V_0 = 36$ V:

a) In einem Apparat mit kreisrunden Platten *1* und *2* entsprach ein Intervall

[1] Whipple, *Proc. Roy. Soc.* **96**. *S. 474. 1920.*

der Skale des Mikroskops dem Werte von 0,0011 cm, und in der Plattenschaltung hatte man:

bei $d = $ **0,975 cm** die Empfindlichkeit von 1 Intervall ($x_p = 0{,}00055$ cm) für 0,001 V;
bei $d = $ **1,035 cm** die Empfindlichkeit von 0,1 Interv. ($x_p = 0{,}000055$ cm) für 0,001 V;
bei $d = $ **1,105 cm** die Empfindlichkeit von 0,05 Interv. ($x_p = 0{,}0000275$ cm) für 0,001 V.

Man erhält entsprechend aus 11) die Werte:

$$\left(\frac{x_p}{x_f}\right)_1 = 27 \sim 30; \quad \left(\frac{x_p}{x_f}\right)_{0,1} = 3{,}5 \sim 3{,}8; \quad \left(\frac{x_p}{x_f}\right)_{0,05} = 2 \sim 2{,}2,$$

je nachdem man für den Radius $a$ des Fadens 0,0015 oder 0,0020 cm annimmt.

Die Erfahrung hat die Werte

16; 2,5; 1,6

ergeben.

b) Bei demselben Elektrometer ist die rechteckige Nadel durch einen einfachen Faden von $a = 0{,}0025$ cm ersetzt worden.

Die Kapazität $C_1$ ist also ungefähr auf die Hälfte derjenigen der obigen Nadel herabgesetzt worden; $\pi^2 C_1$ ist somit $< 1$. Die Erfahrung hat diesmal tatsächlich $\frac{x_p}{x_f} < 1$ ergeben.

Es empfiehlt sich daher die Formel 11) durch die gleichwertige:

$$\frac{x_f}{x_p} = 1 + 2\,(1 - \pi^2 \cdot C_1)\,\frac{V_0}{V_x} \cdot \frac{x_f}{d} \tag{13}$$

zu ersetzen.

Wenn $V_0 = 36$ V ist, ergibt sich aus der Erfahrung die Empfindlichkeiten in der Fadenschaltung von:

1 Intervall ($x_f = 0{,}00055$ cm) für 0,001 V, bei $d = $ **0,72 cm**;
0,1 Intervall ($x_f = 0{,}000055$ cm) für 0,001 V, bei $d = $ **0,75 cm**;
0,05 Intervall ($x_f = 0{,}0000275$ cm) für 0,001 V, bei $d = $ **0,775 cm**.

Die obige Formel liefert:

$$\left(\frac{x_f}{x_p}\right)_1 = 3{,}8, \quad \left(\frac{x_f}{x_p}\right)_{0,1} = 1{,}32, \quad \left(\frac{x_f}{x_p}\right)_{0,05} = 1{,}16,$$

die Erfahrung hat die Werte:

1,7, 1,11, 1,07

ergeben.

c) Anderes Elektrometer mit rechteckigen Platten *1* und *2*; dreieckiger Nadel; $2\,a = 0{,}003$ cm.

Eine Teilung der Mikroskopsskale entsprach 0,00075 cm. Es war noch $V_0 = 36$ V, und in der Plattenschaltung hatte man die Empfindlichkeiten von:

1 Intervall ($x_p = 0{,}000375$ cm) für 0,001 V bei $d = $ **0,745 cm**;
0,1 Intervall ($x_p = 0{,}0000375$ cm) für 0,001 V bei $d = $ **0,796 cm**;
0,05 Intervall ($x_p = 0{,}0000188$ cm) für 0,001 V bei $d = $ **0,852 cm**.

Man erhält aus 11) die entsprechenden Werte:

$$\left(\frac{x_p}{x_f}\right)_1 = 27, \quad \left(\frac{x_p}{x_f}\right)_{0,1} = 3{,}4, \quad \left(\frac{x_p}{x_f}\right)_{0,05} = 2{,}1,$$

die Erfahrung hat die Werte:

18, 2,5 1,7

ergeben.

d) Ein anderes dem obigen gleiches Elektrometer endlich, hatte einen etwas größeren Torsionsfaden, und es war $a = 0{,}0025$ cm. Die Werte von $d$, welche den drei Empfindlichkeiten von 1, 0,1, 0,05 Intervall für 0,001 V entsprachen, waren:

$$d = 0{,}70, \qquad d = 0{,}74, \qquad d = 0{,}79 \text{ cm.}$$

Die Formel 11) gab daher die Werte:

$$\left(\frac{x_p}{x_f}\right)_1 = 36, \quad \left(\frac{x_p}{x_f}\right)_{0,1} = 4{,}2, \quad \left(\frac{x_p}{x_f}\right)_{0,05} = 2{,}5,$$

und die Erfahrung die Werte:

29, 4, 2,5.

Wenn man die ganz schematischen Bedingungen, auf die sich die Theorie stützt, berücksichtigt, sowie die Unsicherheit einiger numerischer Daten, kann man die Übereinstimmung zwischen 11) und den experimentellen Ergebnissen als befriedigend betrachten.

Andererseits sind die Werte von $\frac{x_p}{x_f}$ bei dem Quadrantenelektrometer $\left(\frac{x_p}{x_f} = 1\right)$, bei dem Blättchenelektrometer (s. Zahlenbeispiel der Formel 7)) ganz verschieden; so hat man auch ganz verschiedene Werte von $\frac{x_p}{x_f}$ in einem Elektrometer von Lindemann und Keeley erhalten; was beweist, daß die entwickelte, wenn auch schematische Theorie schon ganz geeignet ist, die Differenzen im Verhalten der vier betrachteten Elektrometertypen (Quadranten-, Blättchen-, Perucca- und Lindemann und Keeley-) anzuzeigen.

In einem Elektrometer von Lindemann und Keeley hat man in der Tat auf experimentellem Wege[1] $\frac{x_p}{x_f} \leqslant 1$ erhalten, und zwar:

$\left(\frac{x_p}{x_f}\right)_1 = 0{,}075$ mit Fadenschaltungempfindlichkeit von 1 Intervall ($x_f = 0{,}00035$ cm) für 0,001 V ($2\,V_0 = 41$ V);

$\left(\frac{x_p}{x_f}\right)_{0,1} = 0{,}5$ mit Fadenschaltungempfindlichkeit von 0,1 Intervall ($x_f = 0{,}000035$ cm) für 0,001 V ($2\,V_0 = 36$ V);

$\left(\frac{x_p}{x_f}\right)_{0,05} = 0{,}64$ mit Fadenschaltungempfindlichkeit von 0,05 Intervall ($x_f = 0{,}0000175$ cm) für 0,001 V ($2\,V_0 = 32$ V).

Diese Werte führen uns zu dem Schluß, daß in dem Lindemannschen Elektrometer $C_1$ bedeutend geringere Werte hat als im Peruccaschen Elektrometer[2]. Dies ist zurückzuführen nicht auf die Einfadenform der Nadel, denn im Lindemannschen Elektrometer wirken vier und nicht zwei Platten, sondern auf die besondere Form

[1] Diese Zahlen wurden mir freundlichst von Dr. M. Lignana vom Physikalischen Institut der Universität in Turin geliefert.

[2] Wir berücksichtigen die einzige für die Empfindlichkeit wirksame Kapazität, d. h. den Influenzierungskoeffizient der Nadel gegenüber den Platten. Eine solche Kapazität ist ein kleiner Teil der sogenannten „Kapazität“ des Elektrometers.

der Quadranten, deren der Nadel gegenüberliegender Teil gerade entfernt worden ist. Dieser Teil ist bei weitem der wichtigste für den Wert von $C_1$. Dem geringeren Werte von $C_1$ sowie der Unmöglichkeit, ein Mikroskop von starker Vergrößerung zur Nadelbeobachtung zu verwenden, hat man die geringere Empfindlichkeit[1] dieses Elektrometers gegenüber dem von Perucca zuzuschreiben.

## Zusammenfassung.

Es werden die auf den Ausschlag $x$ der Elektrometernadel bezüglichen Formeln als Funktion der unbekannten Potentialdifferenz $V_x$ ($x$ und $V_x$ sehr klein), sowohl bei heterostatischer Nadelschaltung als auch bei heterostatischer Plattenschaltung abgeleitet. Es ergibt sich, sowohl bei dem Blättchenelektrometer als bei dem Fadenelektrometer eine Empfindlichkeitsdifferenz in beiden Schaltungen; diese Differenz besteht nicht im Quadrantenelektrometer.

In dieser Hinsicht zeigen das Quadrantenelektrometer, das Blättchenelektrometer, das Fadenelektrometer (und noch mehr das Fadenelektrometer von Perucca und das Fadenelektrometer von Lindemann und Keeley) je ein ganz charakteristisches Verhalten.

## Anhang.

Die Kapazität eines dünnen Fadens, mit dem Radius $a$, in gleicher Entfernung von zwei parallelen unendlichen geerdeten Platten ist:

$$C_1 = \frac{1}{2 \log \frac{2}{\pi} \cdot \frac{d}{a}}$$

für die Längeneinheit; $d$ ist der Abstand zwischen den beiden Platten.

Diese einfache, so doch in keinem der gewöhnlichen Handbücher erwähnte Formel kann man durch einen elementaren Beweis erhalten.

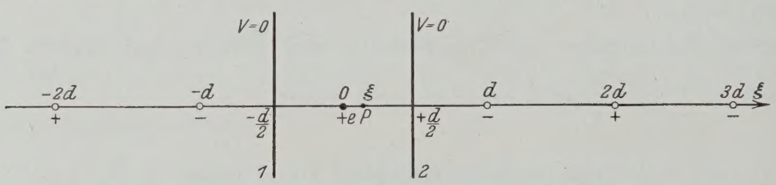



Abb. 8.

In einem Punkt $P$ ($\xi$) (Abb. 8) der Axe $\xi$ ist das Feld $E$ von dem Faden in $O$ und von seinen den Platten *1* und *2* äquivalenten Bildern erzeugt,

$$\left.\begin{aligned} E = 2e\Big[\frac{1}{\xi} + \frac{1}{d-\xi} - \frac{1}{d+\xi} + \frac{1}{2d+\xi} - \frac{1}{2d-\xi} + \frac{1}{3d-\xi} - \frac{1}{3d+\xi} \\ + \frac{1}{4d+\xi} - \frac{1}{4d-\xi} + \frac{1}{5d-\xi} - \dots\Big]. \end{aligned}\right\} \quad 14)$$

Es ist also das Potential längs der Achse $\xi$:

$$\left.\begin{aligned} V = K + 2e\,[-\log\xi + \log(d-\xi) + \log(d+\xi) - \log(2d+\xi) - \log(2d-\xi) \\ + \log(3d-\xi) + \dots]. \end{aligned}\right\} \quad 15)$$

Die Beschränkung auf ein Gliederpaar in $-\xi$ entspricht der Beschränkung auf ein Bilderpaar, welches das Potential der Platte *2* gleich Null macht.

[1] Praktische, nicht theoretische; die theoretische Empfindlichkeit kennt keine Grenze, sowohl bei dem einen als bei dem anderen Elektrometer.

Die Integrationskonstante $K$ ist also bestimmt durch die Bedingung, daß $V = 0$ ist, wenn $\xi = \frac{d}{2}$ ist. Man erhält so $K = 0$.

Das Potential $V_a$ des Fadens erhält man aus 14), wenn man $\xi = a$ setzt; also:

$$V_a = 2\,e \cdot \log \frac{(d-a)(d+a)(3\,d-a)(3\,d+a)(5\,d-a)(5\,d+a)(7\,d-a)}{a(2\,d+a)(2\,d-a)(4\,d+a)(4\,d-a)(6\,d+a)(6\,d-a)} \cdots,$$

und die gesuchte Kapazität $C_1$ ist:

$$\frac{1}{C_1} = \lim_{n=\infty} \frac{V_a}{e}$$

$$= \lim_{n=\infty} \left\{ 2 \cdot \log \frac{(d^2-a^2)(3^2 d^2-a^2)(5^2 d^2-a^2)\ldots[(2\,n-1)^2 \cdot d^2-a^2]\cdot[(2\,n+1)\,d-a]}{a\cdot(2^2 d^2-a^2)(4^2 d^2-a^2)(6^2 d^2-a^2)\ldots[(2\,n)^2\cdot d^2-a^2]} \right\};$$

daher ist, wenn $a$ sehr klein ist,

$$\frac{1}{C_1} = 2 \cdot \log \left\{ \frac{d}{a} \cdot \lim_{n=\infty} \frac{1^2 \cdot 3^2 \cdot 5^2 \cdot 7^2 \ldots (2\,n-1)^2\,(2\,n+1)}{2^2 \cdot 4^2 \cdot 6^2 \ldots (2\,n)^2} \right\}.$$

In analoger Weise erhalten wir:

$$\frac{1}{C_1} = 2 \cdot \log \left\{ \frac{d}{a} \cdot \lim_{n=\infty} \frac{1^2 \cdot 3^2 \cdot 5^2 \cdot 7^2 \ldots (2\,n-1)^2}{2^2 \cdot 4^2 \cdot 6^2 \ldots (2\,n)^2\,(2\,n+2)} \right\},$$

wenn wir in 15) uns auf ein Gliederpaar in $+\xi$ beschränken; wodurch das Potential der Platte *1* gleich Null wird. (Das Glied $\log \xi$ für $\xi = -\frac{d}{2}$ muß als $\log|\xi|$ berechnet werden.)

Die beiden so gefundenen unendlichen Produkte haben die gemeinsame Grenze $\frac{2}{\pi}$; also schließlich:

$$\frac{1}{C_1} = 2 \cdot \log \frac{d}{a} \cdot \frac{2}{\pi}. \qquad 16)$$

Man bemerke, daß die Summe der in 14) enthaltenen Reihe ist:

$$E = \frac{2\,e \cdot \pi}{d} \cdot \frac{1}{\sin \frac{\pi}{d}\,\xi},$$

daher ist, wenn man integriert und den Nullwert der Potentiale auf den Platten berücksichtigt,

$$V = 2\,e \cdot \log \operatorname{ctg} \frac{\pi}{2} \cdot \frac{\xi}{d},$$

und endlich:

$$\frac{1}{C_1} = 2 \cdot \log \operatorname{ctg} \frac{\pi}{2} \cdot \frac{a}{d}. \qquad 17)$$

Doch das physikalische Problem fordert, daß $\frac{a}{d}$ sehr klein sei, so daß in allen Fällen in denen die Formel 17) gilt, auch mit dem gleichen Annäherungsgrade die einfachere Formel 16) Gültigkeit hat.

Auf diese Weise hat man die Kapazität des Drahtes zwischen den Platten berechnet; aber Prof. Jubini hat bemerkt, daß man mit der Benutzung einer analytischen Funktion auch das elektrostatische Feld zwischen den Platten und dem Drahte berechnen kann.

Die Gleichung

$$V + iU = \frac{2\,\omega}{\pi} \log \frac{1 + e^{\frac{\pi}{d}(x+iy)}}{1 - e^{\frac{\pi}{d}(x+iy)}} \qquad (\omega = \text{konst.})$$

definiert die harmonischen koningierten Funktionen, welche das Problem lösen.

Im Falle eines dünnen Drahtes führt die Entwickelung der Rechnungen zu demselben Werte, welchen wir hier für die Kapazität gefunden haben.

# Über eine Vorrichtung zur automatischen Elektrodennachstellung beim Unterwasserfunken.

Von
**H. Conrad-Billroth** in Graz.
(Mitteilung aus dem physikalischen Institut der technischen Hochschule in Graz.)

Als Lichtquelle für Absorptionsmessungen im Ultravioletten wird vielfach der Funken zwischen Aluminiumelektroden unter Wasser verwendet, der ein kontinuierliches Spektrum bis ungefähr 2100 Å.-E. aufweist. Da die Linienfreiheit dieses Spektrums im wesentlichen von der Frequenz des Funkens abhängt, legt man ihn in einen hochfrequenten Schwingungskreis, der nebst dem Unterwasserfunken aus einer Kapazität und einer Luftfunkenstrecke besteht. Die ältere Schaltung, die zum Beispiel von H. Konen (1)[1], C. Strasser (2) usw. verwendet wurde, legt die anregende Spannung an die Kapazität; bei der neueren von V. Henry (3), F. Schmidt (4), H. Stücklen (5), Angerer und Joos (6), Schaum und Kellner (7) wird sie an die Luftfunkenstrecke gelegt. Dies bietet den Vorteil, die Spannung am Unterwasserfunken durch Verstellen der Schlagweite des Luftfunkens regeln zu können.

Der Unterwasserfunken als Lichtquelle weist nun aber, besonders bezüglich der Konstanz, erhebliche Mängel auf. Die Schlagweite ist nämlich in Wasser wesentlich geringer als in Luft (einige Zehntel mm für 6 bis 10000 Volt) und daher ist auch der Unterwasserfunken für die absolut gleichen Änderungen derselben unvergleichlich empfindlicher als der Luftfunken. Solche Änderungen, speziell Vergrößerungen, treten nun dauernd durch den Betrieb selbst ein, und zwar erstens durch das unter Wasser besonders starke Zerstäuben des Aluminiums, und zweitens durch das „Stauchen“ der Elektroden. Nach längerem Betrieb sind die Aluminiumstifte an den Vorderflächen pilzförmig verdickt und der dünne vorstehende Rand nach außen umgerollt, ähnlich, wenn auch regelmäßiger, den bei Körnern, Durchschlägen und Meißeln durch die Hammerschläge entstehenden „Bürsten“.

Durch diese beiden Erscheinungen wird die Entfernung der Elektroden rasch vergrößert, so daß zunächst Zunahme der Lichtstärke, dann aber (bei meiner Anordnung nach 1½ bis 2 Minuten) unregelmäßiger Gang und Aussetzen des Funkens eintritt. Außerdem zeigen die Elektroden unter Umständen die Neigung, schief abzubrennen, wodurch der Funke von den stehenbleibenden Teilen abgedeckt werden kann.

Um diesen Übelständen zu begegnen, wird die Schlagweite von Hand durch Schraubspindeln nachgestellt, die damit gleichzeitig eine Drehung der Elektroden besorgen. Bei längeren Expositionszeiten stellt aber der Lärm der beiden Funkenstrecken hohe Anforderungen an die Nerven des nachregulierenden Beobachters.

Es war daher meine Absicht, eine automatische Regulierung zu bauen, die mindestens diese Tätigkeit des Beobachters ersetzen kann. Die im folgenden angegebene Konstruktion erfüllt zwar diesen Zweck vollkommen, die Energiemessung mit der wesentlich empfindlicheren Photozelle zeigt jedoch, daß Intensitätsschwankungen übrigbleiben, die, wenn man die Lichtquelle direkt zu spektrophotometrischen Zwecken benutzen wollte, noch beseitigt werden müßten.

Obwohl dies hier nicht ganz erreicht ist, gebe ich doch die Konstruktion bekannt, da die erzielte Konstanz zur Bemessung der Expositionszeiten vollkommen ausreicht,

[1] S. den Literaturnachweis am Schluß.

und Methoden, die auf eine exakte Konstanz der Lichtquelle verzichten, wie Teilung des Lichtstrahls, auch aus anderen Gründen, z. B. zur Eliminierung der örtlichen Verschiedenheit der Plattenempfindlichkeit notwendig oder erwünscht sind.

Für eine automatische Regulierung ist es zunächst notwendig, ein für eine Spannung der verwendeten hohen Frequenz empfindliches Organ zu finden. Spulen scheiden von vornherein aus, aber auch elektrostatische Anordnungen versagen bei einiger Kapazität. Es wurde daher ein Hitzdraht verwendet, der im Nebenschluß zum Funken liegt, durch sein Senken einen Platinkontakt schließt, und so den nachstellenden Magneten zum Anziehen bringt.

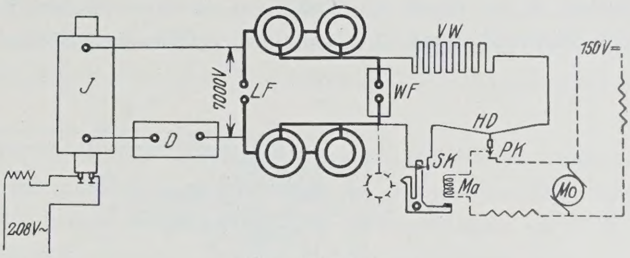


Abb. 1. Schaltung.

Die Schaltung ist in Abb. 1 dargestellt. Technischer Wechselstrom (50 Perioden) wird durch die Primärspule des Induktoriums *J* geschickt. Die sekundäre Wicklung liegt an der Luftfunkenstrecke *LF* des Schwingungskreises, und zwar über eine kräftige Drossel *D*, die den Sekundärkreis für Hochfrequenz sperrt. Die Kapazität besteht aus zwei Gruppen von je zwei parallel geschalteten Leidnerflaschen mit zusammen 20000 cm. Parallel zum Unterwasserfunken *WF* liegt das „Hitzdrahtrelais" *HD* mit einem Vorschaltwiderstand *VW* von ungefähr 80 Ohm. Im Schwingungskreis werden nur dicke, möglichst gerade Drähte verwendet, um kleine Selbstinduktion und daher hohe Frequenz zu erzielen. Die von Schaum und Kellner, sowie Angerer und Joos verwendete Selbstinduktion parallel zum Funken, die ein Aufladen der Flaschen erleichtern soll, hatte bei meiner Anordnung, auch bei abgeschaltetem Nebenschluß, nicht den geringsten Einfluß auf den Gang des Funkens. Der Ladestrom scheint durch die Funkenstrecke zu gehen, die außer Betrieb einen Widerstand von 300 Ohm hat, der aber zwischen zwei Entladungen sicher noch wesentlich geringer ist.

Die Elektroden werden durch einen Gleichstrommotor *Mo* gedreht, und die Nachstellung geschieht durch Festhalten der Schraubspindeln, die sich bei entsprechender Drehung der Muttern zusammenschrauben. Dieses Festhalten besorgt ein Elektromagnet *Ma*, dessen Strom durch das Hitzdrahtrelais geschlossen wird, und der gleichzeitig einen Kontakt *SK* im Nebenschluß selbst öffnet, so daß die dort entstehende Funkenstrecke den Widerstand des Nebenschlusses vergrößert. Dies hat den Zweck, ein Überregulieren durch zu große Trägheit des Hitzdrahtes zu vermeiden. Durch diesen Vorgang wird ja der Strom im Nebenschluß herabgesetzt und der Platinkontakt gelöst, so daß die Nachstellung nur um ein begrenztes Stück erfolgen kann. War dieses Stück zu klein, so wiederholt sich eben das Spiel so oft, bis wieder die normale Spannung am Funken herrscht. Nur durch diese Einrichtung war es möglich, die Elektroden mit der relativ hohen Drehzahl laufen zu lassen, die für Gleichmäßigkeit und Konstanz der Lichtstärke sehr wichtig ist. Eine Nachstellung erfolgt bei 7 bis 8000 Volt am Luftfunken und 6 bis 8 Elektrodenumdrehungen pro Minute je nach der eingestellten Empfindlichkeit alle 10 bis 20 Sekunden.

Abb. 2 zeigt den Aufbau des Apparates. Der aus einer Aluminiumlegierung gegossene Kasten *Ka* stammt von einem alten Poulsengenerator. Er ist mit Wasser-Zu- und Abfluß *Wz*, *Wa* sowie mit einem Quarzfenster *Q* zwischen Gummilagen versehen, und hat an der einen Seite ein kreisförmiges Loch, das von einer Hartgummischeibe *HS* überbrückt ist. Durch diese sowie durch die gegenüberliegende Wand ragen

Rohrstutzen *Rs* insInnere, in denen sich die Elektrodenhalter *E* drehen. Sie bestehen aus Messingrohren, die außen eine hölzerne Schnurscheibe und eine zwecks Auswechslung der Elektroden abschraubbare Kappe *K* mit der Mutter für das Spindelgewinde tragen und innen durch Hartgummipfropfen *Hp* verschlossen sind, in deren Bohrungen die 6 mm starken Elektroden *Al* stecken. Im Inneren der Rohre sind auf die Aluminiumstifte Muffen *Mu* aufgenietet, die zur Führung und zum Angriff der Schrauben dienen. Starke Federn besorgen das Zurückdrücken der Elektroden bei Zurückziehen der Schrauben. Unabsichtlicher, zerstörender Funkenübergang innerhalb der Elektrodenhalter (8) ist durch die Zuleitung aus beweglichem Kupferkabel *Z* und durch Führung der Elektroden an den besonders gefährdeten Stellen in Isolationsmaterial vermieden.

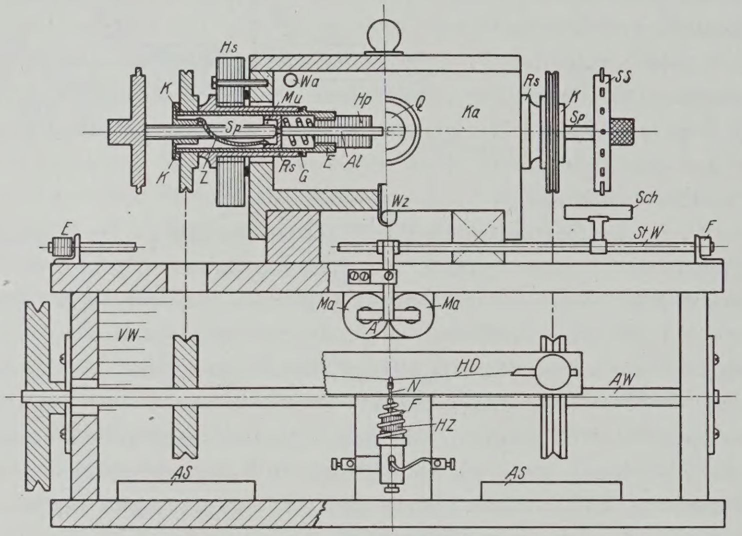



Abb. 2. Aufbau des Apparates.

Zur Dichtung gegen durchtretendes Wasser dienen Gummischeiben *G*, und trotzdem durch den Funken durchgeschlagene Tropfen werden von Abtropfschalen *AS* aufgefangen.

Die Elektrodendrehung wird von einer Welle *AW* abgeleitet, die unter dem Kasten durch den Holzunterbau geht, und vom Motor über ein Schneckenvorgelege mit Schnurtrieb bewegt wird. Von hier erfolgt der Antrieb durch parallele und gekreuzte Schnüre über Holzscheiben, und zwar in derartigem Drehsinn, daß sich, wie angegeben, die festgehaltenen Spindeln in den Kasten hineinschrauben.

Unter dem Deckbrett des Holzunterbaues ist der Nachstellmagnet *Ma* angeschraubt, der auf einen Eisenanker *A* wirkt, welcher an einem Arm der vor dem Kasten gelagerten Steuerwelle *StW* sitzt. Diese Welle trägt noch zwei Arme, an denen Schneiden *Sch* befestigt sind, die in die Stifte am Umfang der auf den Spindeln sitzenden Scheiben *SS* eingreifen und sie so festhalten. Eine Blattfeder an der Muffe *F* am rechten Ende der Welle sorgt für rasches Zurückgehen der Haltvorrichtung.

Links auf der Welle ist von dieser isoliert als vierter Arm der Sicherheitskontakt angebracht. In einem Ebonitstück *E* steckt ein starker, rechtwinklig gebogener Messingdraht, dessen Ende sich beim Drehen der Steuerwelle von einem Kontaktklotz hebt, und so die Leitung unterbricht. In der Zeichnung ragen die Schneidenarme, der Kontaktarm und die Blattfeder von der Steuerwelle nach hinten und sind daher nur teilweise oder stark verkürzt zu sehen.

Das Hitzdrahtrelais, das ebenfalls im Holzunterbau angeordnet ist, enthält den Hitzdraht *HD* (0,1 mm Konstantan, 23 cm lang), der zwischen Messingstiften horizontal ausgespannt ist. In der Mitte hängt daran isoliert eine Messingnadel *N*, die durch eine Feder *F* abwärts in die Bohrung eines Hartgummizylinders *HZ* gezogen wird und an ihrer Spitze einen Platinstift trägt, mit dem sie bei Betätigung der Nachstellung im Inneren des Zylinders ein Scheibchen aus dem gleichen Material berührt, das mit der Ableitung verbunden ist. Der ganze Ebonitzylinder ist vertikal in einem Messingrohr fein verstellbar und die Zuleitung erfolgt einerseits durch das Rohr und die Feder, anderseits durch einen isolierten Draht, der aus einem Schlitz an der Vorderseite des Rohres austritt. Der Vorschaltwiderstand *VW* zum Relais besteht aus 0,2 mm Konstantandraht und ist an der Hinterseite des Holzkastens über Porzellanrollen gespannt.

Die Konstanz der Lichtstärke wurde mit einer lichtelektrischen Zelle in Aufladeschaltung geprüft, wobei die reziproken Werte der Aufladezeiten auf gleiches Potential direkt ein Maß für die Lichtstärke bilden. Es ergaben sich Abweichungen bis 30%, bei einer, den zu erwartenden Expositionszeiten entsprechenden Aufladezeit von ungefähr einer Minute. Die Werte liegen auf einer um einen Mittelwert pendelnden Kurve, wobei aufeinanderfolgende Messungen mit $1^1/_2$ Minuten Abstand um nicht mehr als 10% voneinander abweichen. Dies, sowie der Umstand, daß die Periode der Fehlerkurve von durchschnittlich 6 bis 10 Minuten groß ist, gegen die periodischen Vorgänge der Nachstellung (10 bis 20 Sekunden) und der Elektrodendrehung (10 Sekunden), machen es wahrscheinlich, daß die Unregelmäßigkeit nicht auf Kosten des Nachstellungssystems zu setzen ist. Ich glaube, daß man zunächst den unregelmäßigen Wasserzufluß dafür verantwortlich machen muß, der infolge des ungleichmäßigen Abtransportes des gut leitenden, mit zerstäubten Aluminium verunreinigten Wassers zu Spannungsschwankungen am Funken Anlaß gibt. Da die Nachstellung dann anspricht, wenn der absolute Stromwert im Hitzdraht eine gewisse Grenze überschreitet, so haben auch Spannungsschwankungen am Luftfunken, die in der Größe von 1500 Volt vorkommen, einen großen Einfluß; sie bedingen eine Stromänderung im ganzen System, auf die die Nachstellung in der Art reagiert, daß sie die Elektroden soweit zusammenschraubt, bzw. solange nicht anspricht, bis der Widerstand des Funkens sich so geändert hat, daß er die gesamte Stromschwankung allein aufnimmt. Auch das Beschlagen des innen durch den Wasserdurchfluß stark gekühlten Quarzfensters kann zu Fehlern Anlaß geben. Zum Vergleich sei bemerkt, daß eine am Stadtnetz hängende Glühlampe auch keine bessere Konstanz als 10% gibt, und daß der Funken dem freien Auge vollkommen gleichmäßig erscheint, so daß ein Nachregulieren von Hand ohne besondere Mittel zur Lichtstärkenmessung auch zu keinem besseren Ergebnis führen kann.

Das Spektrum des Funkens besteht aus einem kontinuierlichen Grund und aus den Linien, die in der Tabelle mitgeteilt sind, welche auch die von Henry und Konen gefundenen Linien enthält. Die Intensitätsangaben beziehen sich dabei nur auf meine Aufnahmen. Die Linien, besonders die in Emission erscheinenden, sind so schwach ausgeprägt, und dazu sind manchmal mehrere benachbarte Aluminiumlinien zu einer unscharfen Bande verschmolzen, daß die Ausmessung im Meßmikroskop unmöglich wird. Es wurden daher die Spektren in 5facher Vergrößerung projiziert und die Identität der Linien durch Abgreifen der Abstände von der nächsten Linie des darübergedruckten Quecksilberspektrums mit einem Zirkel festgestellt.

Die Wasserbanden konnte ich auf keiner meiner Aufnahmen feststellen.

Tabelle der Linien im Unterwasserfunken.
(a = Absorption, e = Emission.)

| Å-E | Konen | Henry | Diese Arbeit | | Å-E | Konen | Henry | Diese Arbeit | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2204 | — | a | — | | 2816 | Wasserbande | e | e | schwach |
| 2210 | — | a | — | | 3057 | — | e | e | sehr schwach |
| 2263 | — | a | — | | 3082 | e | a | a | deutlich |
| 2269 | — | a | — | | 3092,7 | e | a | a | (deutlich) |
| 2367 | — | a | a | schwach | 3092,9 | e | — | — | |
| 2373 | — | a | a | (schwach) | 3587 | a | — | — | |
| 2567 | e | a | a | deutlich | 3610 | — | — | e | schwache Bande |
| 2575 | e | a | a | (deutlich) | 3615 | — | — | e | (schwache Bande) |
| 2631 | — | e | e | sehr schwach | 3944 | e | — | a | deutlich |
| 2653 | — | a | a | sehr schwach doch getrennt | 3961 | e | — | a | (deutlich) |
| 2660 | — | a | a | (sehr schwach doch getrennt) | | | | | |
| 2669 | — | — | a | (sehr schwach doch getrennt) | | | | | |

Literatur.

1. H. Konen, *Ann. d. Physik* **9.** *S. 742. 1902.*
2. C. Strasser, *Zeitschr. f. wissensch. Photogr.* **14.** *S. 281. 1916.*
3. V. Henry, *Physikal. Zeitschrift* **14.** *S. 516. 1913; Journ. de Physique et le Rad.* **3.** *S. 181. 1922.*
4. F. Schmidt, *Ann. d. Physik* **63.** *S. 264. 1920.*
5. H. Stücklen, *Zeitschr. f. Physik* **30.** *S. 24. 1924.*
6. Angerer und Joos, *Ann. d. Physik* **74.** *S. 743. 1924.*
7. Schaum und Kellner, *Zeitschr. f. wissensch. Photogr.* **24.** *S. 85. 1926.*
8. J. Wyneken, *Ann. d. Physik* **86.** *S. 1071. 1928.*

# Berichte.

## Der Wild-Autograph.

*Von* E. Berchtold. *Schweiz. Zeitschr. f. Vermessungsw.* **27.** *S. 49—59. 1929.*

## Zur Theorie des Wild-Autographen.

*Von* F. Baeschlin. *Schweiz. Zeitschr. f. Vermessungsw.* **27.** *S. 110—116 und 123—125. 1929.*

Diese beiden Arbeiten beschäftigen sich mit dem Bau des photogrammetrischen Auswerteinstruments von H. Wild. Die erste Arbeit behandelt in anschaulicher Weise den Bau und die Verwendungsweise des Instruments im allgemeinen. Die zweite, eine Ergänzung der ersten vorstellende Arbeit, beschäftigt sich mit zwei das Instrument und seine Verwendung betreffenden Einzelfragen. Beide Arbeiten bilden wertvolle Beiträge für das Verständnis und den Gebrauch des Autographen von H. Wild. *P. W.*

## Die Entwicklung der photogrammetrischen Auswertungsgeräte in Deutschland.

*Von* O. Eggert. *Zeitschr. f. Vermessungsw.* **57.** *S. 593—609 und 625—636. 1928.*

Da anzunehmen ist, daß die Entwicklung der photogrammetrischen Instrumente zum Auswerten von Bildpaaren in Deutschland zunächst zu einem Abschluß gekommen ist, so wird der hier gegebene Rückblick über die Entwicklung der Auswertungsinstrumente von vielen begrüßt werden. Die seit der Jahrhundertwende gemachten Fortschritte im Bau von photogrammetrischen Instrumenten und der damit erfolgte Aufschwung der Photogrammetrie sind gekennzeichnet durch den Stereokomparator von C. Pulfrich als erstes Instrument zur Auswertung eines Bildpaares, den Stereoautographen von E. v. Orel als erstes Instrument zur linienweisen Auswertung und den Autokartographen von R. Hugershoff als erstes Instrument zur Auswertung von Luftbildern.

*P. W.*

## Die Definition der effektiven Wellenlängen von Farbgläsern für Zwecke der optischen Pyrometrie.

*(Sur la définition des longueurs d'ondes effectives des verres colorés utilisés en pyrométrie optique.)*

*Von* G. Ribaud. *Revue d'Opt.* **8.** *S. 145—154. 1929.*

Bei der Verwendung eines Farbglases in der optischen Pyrometrie erfordert jede Spezialaufgabe die präzise Definition der in den Formeln vorkommenden effektiven Wellenlänge.

Bei der Extrapolation von der Temperatur $T_0$ eines schwarzen Körpers bis zur Temperatur $T$ durch Vermittlung eines Reduktionsfaktors $\tau$ ist die effektive Wellenlänge $\lambda_e$, welche in die Extrapolationsformel

$$\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} = -\frac{\lambda_e}{C_2} \log \text{nat}\, \tau$$

einzusetzen ist, unabhängig von der Art, wie man den Reduktionsfaktor realisiert (rotierender Sektor, Dämpfungsglas). In allen Fällen muß man die effektive Wellenlänge des Farbglases allein so nehmen, wie sie sich aus der folgenden Formel ergibt:

$$\lambda_e = \frac{C_2 \left[ \frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right]}{\log \frac{L}{L_0}},$$

wo $L$ und $L_0$ die durch das Farbfilter durchgegangenen und von einem schwarzen Körper von den Temperaturen $T$ und $T_0$ herkommenden Lichtströme bedeuten. Wenn das Reduktionssystem ein Absorptionsglas ist, so ist der Wert $\tau$ gleich dem Durchlässigkeitskoeffizient des mit dem Farbglase verbundenen Absorptionsglases, und zwar für die Strahlung eines schwarzen Körpers von der Temperatur $T$, anders ausgedrückt, das Verhältnis der durch das Farbglas mit und ohne Absorptionsglas durchgelassenen Lichtströme für die Strahlung eines schwarzen Körpers von $T$ Grad. Wenn man ein mit Farbglas und Absorptionsglas ausgerüstetes Pyrometer auf einen nicht schwarzen Körper richtet (leuchtende Metallfläche), so ergibt sich die in die Beziehung

$$\frac{1}{S} - \frac{1}{T} = -\frac{\lambda_e}{C_2} \log \varepsilon_\lambda$$

einzusetzende effektive Wellenlänge $\lambda_e$ auf folgende Weise: Zunächst verbindet die obige Formel die Grautemperatur $S_\lambda$, wie sie auf dem Instrument abgelesen wird, die wahre Temperatur $T$ und das monochromatische Emissionsvermögen $\varepsilon_\lambda$; man bildet für das System Farbglas Absorptionsglas die der Extrapolation zwischen $S_\lambda$ und $T_c$ entsprechende Wellenlänge; $T_c$ ist die Farbtemperatur des nicht schwarzen Körpers. Diese Wellenlänge ist verschieden von derjenigen des Farbglases allein, und zwar in allen Fällen, wo das Absorptionsglas nicht streng neutral ist. In der Praxis ist diese Differenz keineswegs zu vernachlässigen. *Flügge.*

## Dioptrische Untersuchungen.

*(Recherches dioptriques.)*

*Von* Ch. van der Pijl. *Revue d'Optique* **8.** *S. 155—173. 1929.*

Der Verf. behandelt einige Probleme der Dioptrik des menschlichen Auges. Eine der wichtigsten Festsellungen besagt, daß der Augendrehpunkt gerade jener ausgezeichnete Punkt auf der optischen Achse des dioptrischen Apparates des menschlichen Auges ist, für welchen die ihn schneidenden Lichtbündel ein Minimum von Astigmatismus aufweisen. Daraus folgt beispielsweise, daß ein Brillenglas-System, welches einfach auf einer astigmatischen Korrektion für diesen Punkt gegründet ist, noch sehr diskutabel und von zweifelhaftem praktischen Werte bleibt. Weiter wird festgestellt, daß die Bildqualität hinsichtlich der sphärischen Aberration auf der Achse praktisch vollkommen unabhängig von der Akkomodation ist. Dafür ist aber der komatische Fehler desto stärker veränderlich, was bei der Akkomodation eine erhebliche Verundeutlichung des Bildes durch Zerstreuungsscheibchen bewirkt. Das für die Bildgestaltung effektive Lichtbündel geht fast genau durch den vorderen Scheitelpunkt der Kristallinse. Daraus erklärt sich der geringe Einfluß der mittelmäßigen Güte der vorderenKristallinsenfläche auf die Bildqualität. Der chromatische Fehler des Auges gleicht demjenigen eines zerstreuenden Meniskus. Es müßte daher sehr gut möglich sein, visuelle Achro-

maten aus einer einzigen Sammellinse zu konstruieren. Hiermit in engem Zusammenhang steht eine Lupenart, die, trotzdem sie eine einfache Linse ist, fast völlig frei von visueller Chromasie ist; außerdem kann sie praktisch anastigmatisch sein, wenn ihre Krümmungen ins Innere der Tscherningschen Ellipsen fallen. Die Daten eines solchen Systems sind z. B.

$$r_1 = 39{,}7 \quad r_2 = 179{,}3 \qquad n = 1{,}51 \text{ (Borosilikatkron)}$$

Stärke 10 dptr.; Abstand des Hornhautscheitels 28 mm.

Mit sphärischen Flächen läßt sich kein photographisches Objektiv konstruieren, dessen Bild streng vergleichbar wäre mit dem visuellen Bilde, man kann sich diesem Ideal jedoch sehr stark nähern. Verf. hat z. B. ein Objektiv dieser Art von der Öffnung F/3 konstruiert, welches in der Kinematographie und künstlerischen Photographie Verwendung findet. Sein Bild ist plastisch und von künstlerischer Weichheit, zugleich aber hervorragend anastigmatisch. *Flügge.*

## Das Reflexionsvermögen einiger Substanzen im äußersten Ultraviolett.

*(The reflecting power of some substances in the extreme ultra-violet.)*

*Von* Paul R. Gleason. *Proc. Nation. Acad. of Sciences U. S. A.* ***15.*** *S. 551—557. 1929.*

Zweck dieser Untersuchung ist die quantitative Bestimmung des Reflexionsvermögens einiger Substanzen im kurzwelligen Ultraviolett zwischen 585 und 1850 Å. Benutzt wurde ein Vakuumspektrograph mit Konkavgitter. Das am Gitter reflektierte Licht fiel auf eine photographische Platte, und zwar entweder direkt oder erst nach zwischengeschalteter Reflexion an einem Spiegel aus dem zu untersuchenden Material. In letzterem Falle wurden Reflexionswinkel von 45° genommen. Als Plattenmaterial wurden *Cramers Lantern Slide Plates* Rotsiegel benutzt, die zudem mit Nujol sensibilisiert waren. Die Belichtungszeiten des direkten und des reflektierten Spektrums wurden so gewählt, daß sich gleiche Schwärzungen des Spektrallinienbildes ergaben. Bei Gültigkeit des Reziprozitätsgesetzes ist dann das Reflexionsvermögen gleich dem Verhältnis der Belichtungszeiten. Als Lichtquelle dienten Geißlersche Röhren. Es wurden solche mit Wasserstoff, Helium, Sauerstoff und Stickstoff verwendet. Die fertigen Aufnahmen wurden mit einem thermoelektrischen Photometer ausgemessen.

Vor den endgültigen Messungen wurde das Reziprozitätsgesetz kontrolliert. Abweichungen von dem Gesetz wurden durch Korrektionsgrößen berücksichtigt. Die übrigen verschiedenartigen Fehlerquellen wurden gleichfalls studiert, und zwar: 1. Intermittenzfehler; 2. Helligkeitsschwankungen der Lichtquellen; 3. Absorptionsschwankungen der Gasreste im Vakuumspektrographen; 4. Ungleichheiten der Empfindlichkeit der photographischen Platte; 5. Streulicht anderer benachbarter Linien im Spektrum; 6. Photometrische Messungsgenauigkeiten. Die endgültige Genauigkeit wird mit 5 bis 10% angegeben.

Die Ergebnisse sind in Kurvendarstellungen wiedergegeben. Bemerkenswert ist, daß Platin bei weitem der beste Reflektor für kurzwelliges Licht ist. Nickel, krist. Quarz und Gold sind die einzigen übrigen Substanzen, die bei 585 Å mehr als 10% reflektieren. Die Untersuchungen erstrecken sich außerdem noch auf Aluminium, Beryllium, Messing, Silizium, Silber, Spiegelmetall, Stahl, Stellit, Fluorit, Glas und Quarz. *Flügge.*

## Herstellung und Sensitometrie sehr feinkörniger photographischer Platten; Platten für Interferenzen-Photographie.

*(Préparation et sensitométrie de plaques photographiques à grain très fin; plaques pour la photographie interférentielle.)*

*Von* N. Leroy. *Revue d'Opt.* ***8.*** *S. 262—274. 1929.*

Es wird ein neues, von kolloidalem Silber ausgehendes Fabrikationsverfahren sehr feinkörniger photographischer Platten beschrieben, die gestatten, außerordentlich feinlinige Spektren aufzunehmen, so wie es etwa von Lippmann-Emulsionen her bekannt ist. Es werden ferner einige Eigenschaften solcher Platten beschrieben mit Chlor-, Brom- oder Jodsilber. In allen drei Fällen ist die Empfindlichkeit für eine wohl definierte Wellenlänge ein Maximum, und zwar hängt diese Wellenlänge von dem Molekulargewicht des verwendeten Salzes ab.

Für jede Emulsion werden die charakteristischen Kurven bestimmt, und zwar für eine Anzahl verschiedener Spektralgebiete. Anschließend untersucht der Verf. die Veränderungen des Faktors $\gamma$ in Abhängigkeit von der Wellenlänge. Das Endergebnis faßt er dahin zusammen, daß diese Platten, da sie die Eigenschaften ganz gewöhnlicher Platten haben, für jede Strahlungsart sensibilisiert werden können und auch für Farbenphotographie brauchbar sind. *Flügge.*

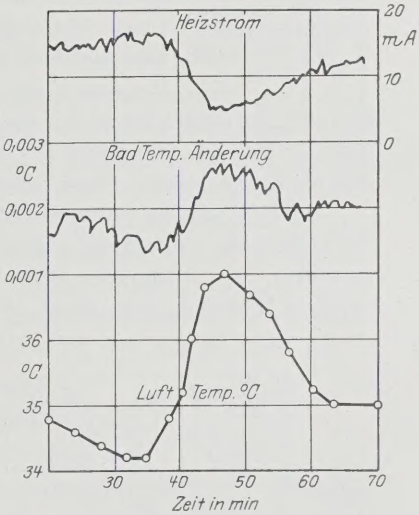
## Über einen Thermostaten für $^1/_{1000}$ Grad Cels. Temperaturkonstanz.

*(A thermostat constant to one-thousandth of a degree centigrade.)*

*Von* F. R. Winton. *Journ. scient. instr.* **6.** *S. 214—217. 1929.*

Bei physio-biologischen Untersuchungen an lebendem Gewebe ist eine außerordentlich genaue Regelung der benötigten Bäder, insbesondere bei Temperaturen in der Nähe von 37 Grad Cels erforderlich. Vorhandene Apparaturen befriedigen insofern wenig, als sie nicht selbsttätig arbeiten und daher dauernder Überwachung und Bedienung bedürfen. Diese wesentlichen Mängel vermeidet das Gerät, das der Verf. angibt.

Das Bad der beschriebenen Apparatur besteht aus einem zylindrischen Dewargefäß von ca. 150 mm Durchmesser und ca. 280 mm Höhe, das ungefähr 3 l Wasser enthält. Das Gefäß ist in einem mit Glasfenstern versehenen Holzgehäuse angeordnet; die Lufttemperatur im Gehäuse stimmt bis auf wenige Grade mit der des Bades überein. Das wärmeempfindliche Organ besteht aus einem Toluol-Quecksilber-Thermoregler, dessen „Kugel" zu einem Rohr ausgezogen, in Wellenlinienform gebogen eng um das Dewargefäß gewunden ist. Das Organ enthält etwa 130 ccm Toluol und 20 ccm Quecksilber und endet in einer offenen Kapillare von 1,4 mm Lumen. In das Quecksilber taucht ein Draht, dessen Spitze mit Siegellack überzogen ist und demnach einen Kontakt mit stetig veränderlichem hochohmigen Widerstand bildet. Dieser Widerstand liegt in dem einen Zweig eines Potentiometers, in dessen anderem ein fester Widerstand von 5 M$\Omega$ liegt und ist so geschaltet, daß die einer Batterie entnommene Gittervorspannung einer Elektronenröhre von 0 bis 24 V verändert werden kann. Der Anodenstrom dieser Röhre fließt durch einen weiteren Widerstand, der zur Heizung des Bades dient und wird so mittels des veränderlichen Widerstandes im Thermoorgan automatisch auf dem Wert gehalten, der die Temperatur des Bades konstant hält.




Damit durch Trägheitserscheinungen am Reglerorgan bedingte Schwankungen der Badtemperatur vermieden werden, sind bestimmte Sicherheitsmaßnahmen erforderlich. Das Bad muß wirksam durchgerührt werden, die Oberfläche des Toluols muß groß imVerhältnis zum Volumen sein, die Wärmekapazität des Heizwiderstandes muß klein gehalten werden und die des Toluols in ihrer Wirkung durch geeignete Anordnung des Widerstandes zum Toluol einigermaßen ausgeschaltet werden.

Weitere Schwierigkeiten verursacht der variabele Quecksilberwiderstand. Durch einige Kunstgriffe werden diese aber leicht und sicher behoben. Die Leistung der Geräts läßt sich mit Hilfe einfacher Ansätze berechnen. Experimentell wurde die Empfindlichkeit bestimmt, indem ein Platinwiderstandsthermometer mit Kompensation des Einflusses der Zuleitungen, das in das Bad tauchte, und ein Drehspulengalvanometer in Brückenschaltung so abgestimmt wurden, daß einem Zeigerausschlag von einem Millimeter eine Temperaturänderung von $^1/_{10\,000}{}^0$ C. entsprach. Die Abb. zeigt den Einfluß eines plötzlichen, künstlich erzeugten Luftstromes auf die Badtemperatur und den Heizstrom. Es zeigt sich, daß einer Heizstromänderung um 1 mA einer Änderung der Badtemperatur von 0,0001$^0$ C. entspricht.

Weitere Kurven bringen die Reaktionsgeschwindigkeit des Gerätes zur Darstellung.

Die außerordentlichen Leistungen des Gerätes verdienen weitgehende Beachtung.

*W. Keil.*

## Über ein neues elektrisches Registriergerät.

*(A new electrical recording system.)*

*Von* B. H. C. Matthews. *Journ. scient. instr.* **6.** *S. 220—226. 1929.*

Das neue Gerät wurde vom Verf. für physikalisch-medizinische Zwecke entwickelt, es erscheint aber auch für rein physikalische Untersuchungen als ein sehr geeignetes Hilfsinstrument, insbesondere da, wo rasch verlaufende Schwankungen des elektrischen Potentials kleinster Amplitude untersucht werden sollen. Es wurde im *Physiological Laboratory* in Cambridge gebaut und sollte zunächst zur Aufzeichnung der durch die biologischen Vorgänge im lebenden Gewebe entstehenden EMK und besonders der elektrischen Änderungen, die mit Nervenreaktionen in einzelnen Nervenfasern einhergehen, dienen. Diese Änderungen sind von der Größenordnung von 30 $\mu$V und dauern ca. 0,002 s, während in den Stromkreisen, in denen sie auftreten, Widerstände von 10000 bis 500000 $\Omega$ herrschen. Für derartige Untersuchungen versagt der nach dem Schleifenprinzip arbeitende Oszillograph. Daher mußten ganz neue Wege beschritten werden, die darin gefunden wurden, daß man das Telephonprinzip anwandte.

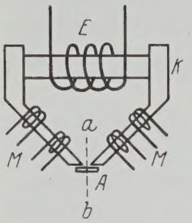



Abb. 1. $A$ = Weicheisenkörper (Anker), $a$-$b$ Schwingrichtung, $K$ = lamellierter Weicheisenkern, $E$ = Erregungsspule, $M$, $M$ = Modulationsspulen.

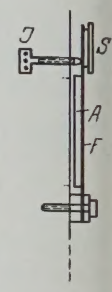



Abb. 2. $A$ = Weicheisenkörper (Anker), $J$ = Justier-Anschlagschraube, $F$ = Zungenfeder, $S$ = Spiegel.

Trotz erheblicher Problemschwierigkeiten entstand ein Gerät, das bis zu 10000 Schwingungen/s aufzuzeichnen gestattet.

Aus den Abb. 1 und 2 ist der Bau des wesentlichen Organs des Geräts zu ersehen. Ein Elektromagnet mit lamelliertem Weicheisenkern $K$ übt auf einen Weicheisenkörper $A$, der an einer Federzunge $F$ befestigt ist, einen dauernden Zug aus, der durch den die zwei kleineren Spulen $M$ durchfließenden Strom beeinflußt wird. Die daraus sich ergebende Bewegung der Zunge wird optisch registriert. Zu diesem Zweck ist am freien Ende der Zunge $A$ ein kleiner Spiegel $S$ befestigt. Der durch $M$ fließende Strom wird aus dem Anodenkreis der Endstufe eines Verstärkers entnommen und gibt die Schwankungen proportional wieder, die am Gitter der Eingangsröhre auftreten.

Abb. 2 zeigt im Seitenriß die besondere Bauart der Zunge $A$. Wesentlich ist die Zungenfeder; ihr steht eine einstellbare Anschlagschraube $J$ gegenüber. Zur Dämpfung kann in den Spalt zwischen Polschuh und Zunge ein Tropfen Öl eingebracht werden, meistens genügt jedoch die Dämpfung der Luft. Die Modulationsspulen besitzen hohe Induktanz, deren störende Nebenwirkung ebenso wie die der Verstärkerröhren durch geeignete Schaltelemente beseitigt werden können.

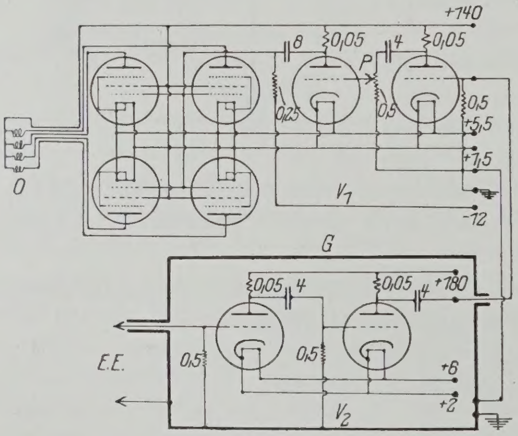



Abb. 3. $O$ = Oszillographenspulen, $G$ = geerdetes Schutzgehäuse aus Eisenblech, $E, E$ = Eingangsklemmen, $V_1$ = erster, $V_2$ = zweiter Verstärker.

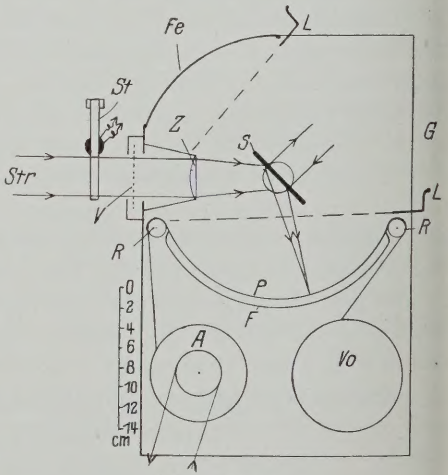



Abb. 4. Kamera. $A$ = Aufwickelspule, $R, R$ = Führungsrollen, $P$ = Film, bzw. photopraphisches Papier, $Vo$ = Vorratsspule, $L, L$ = Lichtschutzverschlüsse, $Fe$ = Beobachtungsfenster aus Zelluloid, $G$ = Gehäuse, mit schwarzem Samt ausgelegt, $S$ = rotierender Aufnahmespiegel, $Z$ = Zylinderlinse, $St$ = Synchronisierungsstimmgabel, $Str$ = vom Oszillographenspiegel kommender Lichtstrahl, $V$ = Verschluß, $F$ = Film- bzw. Papieranlage.

Die Besonderheiten der benutzten Schaltung gehen aus dem in Abb. 3 gegebenen Schaltschema hervor. Die den Symbolen der Schaltelemente beigeschriebenen Zahlen geben die Größen jener in *MΩ* und *μF* an.

Mit Hilfe des Verstärkers erhält man für 2 mV eine Ablenkung des Lichtzeigers von 1 mm in 5 m Entfernung vom Spiegel; gewöhnlich genügt geringere Empfindlichkeit, die man mittels des Potentiometers regulieren kann. Bei 6000 Schwingungen/s ist der Zusammenhang zwischen Potential und Ablenkung des Lichtzeigers nahezu linear bis zu 20 mm beiderseits des Skalennullpunkts.

Die registrierten Potentialänderungen lassen sich durch Auf- und Entladungen eines Kondensators, dessen Belegungen über einen Widerstand verbunden sind, reproduzieren.

Für die Registrierung wurde eine Kamera gebaut, deren Bauart aus Abb. 4 hervorgeht. Der durch Uhrwerk gedrehte Spiegel *S* wirft das Bild des vom Oszillographenspiegel kommenden Lichtstrahls auf das einer zylindrischen Haltefläche *F* anliegende Bromsilberpapier *P*, an dessen Stelle auch Film verwendet werden kann. Für Einzelaufnahmen ist ein Verschluß vorgesehen, der mit der Drehung des Spiegels synchronisiert wird und, wenn ein Auslösehebel betätigt wird, sich für eine Spiegeldrehung öffnet. Bei Daueraufnahmen sorgt ein Wickelmechanismus für den Transport des Aufnahmepapiers bzw. Films derart, daß ein Papier- bzw. Filmvorschub bis zu 4 m/sec möglich wird.

Das Gerät wird von der *Clifton Instruments Ltd.*, Clifton Grove, Bristol, hergestellt.

Die dem Aufsatz beigegebenen photopraphischen Reproduktionen, vor allem die abgebildeten Kurven unterstützen die Ausführungen des Verf. wirksam. *W. Keil.*

## Tellur-Thermoelemente.

*Von* B. Lange und W. Heller. *Physikal. Zeitschr.* ***30.*** *S. 419—425. 1929.*

Die Versuche, für genauere Messungen geeignete Thermoelemente aus Metallen mit hohen Thermokräften herzustellen, entstehen aus dem Wunsch, als Indikator statt des nicht immer angenehmen Spiegelgalvanometers ein handlicheres Zeigerinstrument verwenden zu können, dessen Spannungsempfindlichkeit in der Regel höchstens $10^{-4}$ V beträgt. Die Verwendung von Tellur bietet die Möglichkeit, mit solchen Galvanometern noch bis etwa $0{,}1^0$ genau zu messen, falls es gelingt, daraus brauchbare Thermoelemente herzustellen. Über einen derartigen Versuch ist kürzlich hier berichtet worden. (*Diese Zeitschr.* ***49.*** *S. 473. 1929*). Verf. haben aus Tellur und Platin Thermoelemente konstruiert, die zwischen $-75^0$ und $+90^0$ genaue Temperaturmessungen ermöglichen. Zwischen $0^0$ und $40^0$ steigt die Thermokraft linear, darüber hinaus bis $400^0$ nahezu linear an.

*Sewig.*

## Über einige Eigenschaften von Photozellen.

*(Some Characteristics of Photoelectric Tubes.)*

*Von* Lewis R. Côller. *Journ. Opt. Soc. Amer.* ***19.*** *S. 135–145. 1929.*

Die Arbeit bringt eine Übersicht über die Eigenschaften handelsüblicher, gasfreier und gasgefüllter Photozellen.

1. Abhängigkeit zwischen Photostrom und Belichtung. Die für Vakuumzellen unter gewissen Bedingungen streng gültige Proportionalität zwischen lichtelektrischer Emission und absorbierter Lichtmenge ist bei gasgefüllten Zellen nicht immer erfüllt (Ives, Dushman, Karrer, Kunz.) Als Ursachen kommen neben solchen sekundärer Natur (Wandladungen, Raumladung) bei gasgefüllten Zellen die noch nicht vollständig geklärten Einflüsse des Füllgases in Frage. Die Abweichungen wachsen mit zunehmendem Lichtstrom und zunehmender Anodenspannung.

2. Natur des Füllgases und Einfluß der Ionenstöße. An ein Füllgas für Photozellen sind zwei Forderungen zu stellen: es darf nicht mit dem Kathodenmaterial reagieren und keinen „*clean-up*"-Effekt zeigen. Die erste Forderung schließt bereits sehr viele Gase aus. Der „*clean-up*"-Effekt besteht darin, daß die Gase bzw. ihre Ionen unter der Wirkung des elektrischen Feldes in die Glaswandungen oder andere Teile der Zelle hineingetrieben werden, was eine dauernde Erniedrigung des Gasdruckes zur Folge hat. Obwohl Wasserstoff letztere Erscheinung zeigt und

deshalb bereits von Elster und Geitel als Füllgas verworfen wurde, ist es in letzter Zeit bei den rotempfindlichen Alkalizellen der *General Electric Comp.* (nach Campbell) wieder in Benutzung gekommen. (Zur Ergänzung des Wasserstoffvorrats enthalten diese Zellen ein eingeschmolzenes Palladiumröhrchen.) Die heute am meisten verwandten Füllgase sind Argon und Helium. Ein prinzipieller Nachteil aller gasgefüllten Zellen besteht darin, daß die Kathode beim Arbeiten der Zelle durch die positiven Ionen des Füllgases beschossen und dadurch die Lebensdauer heruntergedrückt wird. Abb. 1 zeigt am Beispiel der Lebensdauer einer Caesiumzelle den Einfluß insbesondere der hohen Anodenspannung. — Die Glimmspannung, die bekanntlich mit zunehmender Intensität der Belichtung abnimmt, zeigt diesen Gang bei Zellen mit kompakten Alkalikathoden stärker als bei solchen, wo die Kathode aus einer sog. monomolekularen, auf einem anderen Metall (z. B. Cu, Ag, Mg) niedergeschlagenen Alkalifilm besteht. Die letztgenannte Art gasgefüllter Zellen

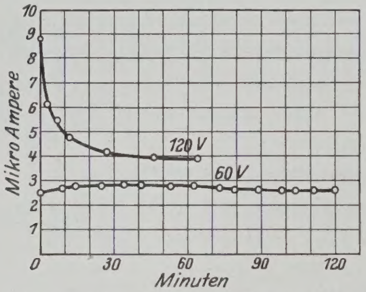


Abb. 1. Lebensdauer einer Caesiumzelle in Abhängigkeit von der Anodenspannung.

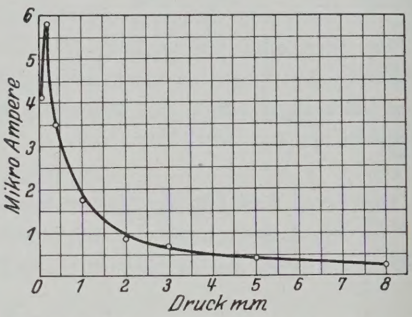


Abb. 2. Beziehung zwischen Gasdruck und Photostrom bei konstanter Belichtung.

zeigt eine von der Belichtung praktisch unabhängige Glimmspannung. Am Beispiel einer Zelle der erstgenannten Art fand Verfasser bei Beleuchtungsintensitäten, die sich wie 1 : 9 verhalten, Änderung der Glimmspannung um 50 V. — Der günstigste Druck des Füllgases hängt außer von der Natur des Gases wesentlich von der Zellenform ab und liegt meist zwischen 0,1 und 1 mm Hg. Abb. 2 zeigt die für eine Zellenform ermittelte Beziehung zwischen Gasdruck und Photostrom bei konstanter Belichtung, wobei die Spannung stets gerade 25% unter der Glimmspannung blieb.

3. Der Einfluß des Elektrodenabstandes ist unwesentlich. Wird in einer Versuchszelle, die aus plattenförmiger Kathode und paralleler Netzanode besteht, der gegenseitige Abstand verändert, so ergibt sich ein flaches Maximum, das allerdings bei hohen Anodenspannungen etwas steiler wird.

4. Kathodenmaterial. Im sichtbaren Gebiet sind die Alkalimetalle, und unter diesen Caesium, am empfindlichsten. Hydrierung der Oberfläche (Glimmentladung in Wasserstoff) kann Maximum und Schwellenwert nach längeren Wellen hin verschieben. Für Ultraviolett-Photozellen sind Magnesium, Kadmium und Zink am geeignetsten. Die spektrale Verteilung der Empfindlichkeit ist bei allen Kathoden weitgehend von der Natur ihrer Oberflächen abhängig. Ives hat festgestellt, daß Schichten von einer Dicke in atomarer Größenordnung eine weitergehende Rotempfindlichkeit haben als kompaktes Metall. Bei monomolekularen, auf Magnesium niedergeschlagenen Caesiumfilmen (Zworykin und Wilson) ist die spektrale Empfindlichkeitsverteilung sehr ähnlich der des menschlichen Auges. Bei monomolekularen Caesiumfilmen, die auf einer oxydierten Silberschicht niedergeschlagen sind, ist das Maximum nach kurzen, der Schwellenwert nach längeren Wellen hin verschoben.

5. Methoden zur Herstellung der lichtelektrischen Kathoden. Die älteste Methode besteht im Eindestillieren des (vorher sorgfältig durch Vakuumdestillation gereinigten) Alkalimetalls. Neuerdings geht man zur chemischen Darstellung des Metalls in der Zelle selbst mittels Reaktionen von der Form:

$$2\,CsCl + Ca \rightarrow CaCl_2 + Cs_2$$

oder

$$BaN_6 \rightarrow 3\,N_2 + Ba$$

über, die besonders angebracht sind, wenn man nur sehr geringe Metallmengen in der Zelle benötigt.

6. Anwendungen. Aus der Unzahl der möglichen Anwendungen von Photozellen können nur einige wenige herausgegriffen werden: Objektive Photometrie, Ultraviolett-Photometrie für medizinische Zwecke, Bildtelegraphie, Fernsehen, Sprechfilm, Signalisierung, Alarmvorrichtungen, automatisches Einschalten von Lampen usw. *Sewig.*

## Über registrierende Vakuummeter.

*(On some recording vacuum ganges.)*

*Von* K. C. D. Hickman. *Journ. Opt. Soc. Amer.* ***18.*** *S. 305—332. 1929.*

Die Bestrebungen, das handlichste und einfachste Manometer, das U-Rohr, zur Messung geringer Drucke geeignet zu machen, haben zu mancherlei Konstruktionen geführt, deren Hauptvorteile gegenüber dem Standard-Instrument für kleine Drucke, dem von Mc Leod, in ihrer dauernden und direkten Ablesbarkeit bestehen. Verf. fügt diesen Modellen einige z. T. recht glückliche Formen hinzu. Ihr Prinzip, das übrigens auch anderweitig bereits erfolgreich angewendet wurde, besteht in einer

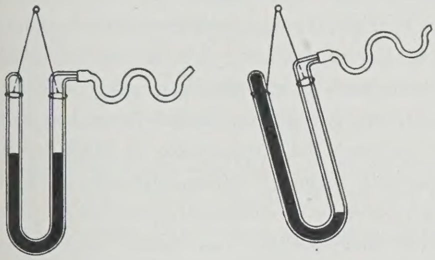


Abb. 1.

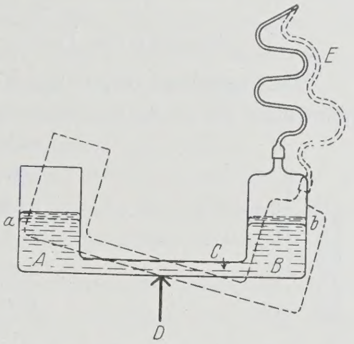



Abb. 2. *A B C* kommunizierendes Quecksilbergefäß, *D* Schneide, *E* Druckschlauch, *ab* Niveauänderungen.

Schwerpunktsverlagerung des Manometergefäßes, welche durch die zu messenden Druckänderungen bewirkt wird, und wird durch die Abb. 1 ohne weiteres klar. Bildet man ein solches System als Waage aus (Abb. 2), so bewirkt eine sehr kleine Druckänderung zunächst eine geringe Neigung, die durch das überfließende Quecksilber vergrößert wird. Man sieht, daß sich

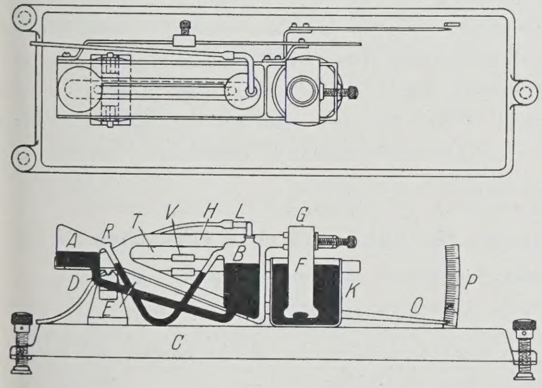



Abb. 3. *A* geschlossenes Gefäß, *B* Druckgefäß, C Verbindungsrohr, *D* Schneide, *E* Sicherheitsrohr, *F* Tauchkörper, *K* Quecksilbergefäß, *H* Waage, *G* Anschluß von *F* an *H*, *L* Druckschlauch, *T* Tarierarm, *V* Tariergewicht, *O* Zeiger, *P* Teilung.

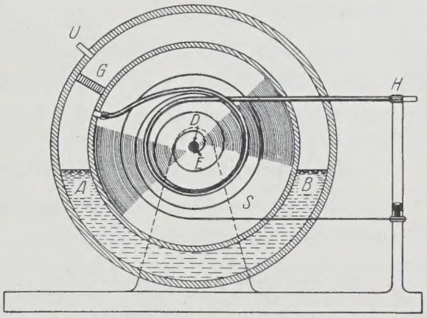



Abb. 4. *A B* Quecksilberfüllung, *G* Trennungswand, *U* Ventil, *D* Drehachse, *E* Lagerständer, *H* Druckschlauch, *S* Spiralfeder.

das System im labilen Gleichgewicht befindet. Wird eine in Richtung der Ruhelage wirkende, quasielastische Kraft angewendet, so erfolgt Einstellung auf einen Gleichgewichtszustand. Die Ausschläge hängen unter sonst gleichen Ursachen von der Direktionskraft der Feder ab, die natürlich sehr gering gemacht werden kann. Hieraus geht hervor, daß man solche Instrumente mit recht großer Empfindlichkeit bauen kann. Als Richtkraft benutzt Verf. bei einigen Konstruktionen (Abb. 3) einen Tauchkörper, bei anderen (Abb. 4) eine Spiralfeder. Abb. 4 ähnelt, wenn man die Feder wegläßt, den als „Gasometer“ bekannten, integrierenden Volumenmessern. Die Arbeit enthält noch andere Konstruktionen (Pendelform) und Angaben über Empfindlichkeit und Genauigkeit der vom Verf. gebauten Ausführungen. *Sewig.*

## Ein neues Pirani-Vakuummeter.

*(A Modified Pirani Gauge.)*

*Von* Thos. de Vries. *Journ. Opt. Soc. Amer.* ***18.*** *S. 333—335. 1929.*

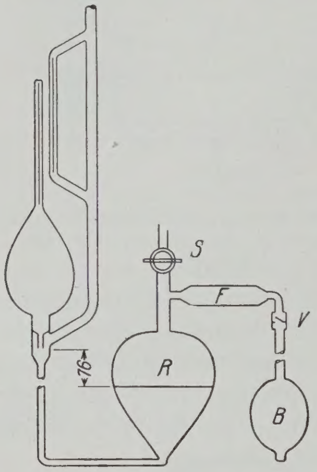
Verf. beschreibt ein Pirani-Manometer, bei welchem als Widerstände einer Brückenschaltung vier Glühlampen vorgesehen sind. Zwei gegenüberliegende sind mit dem zu messenden Vakuum vorbunden, die anderen beiden dienen als Ausgleichswiderstände. Es wird die Verwendung von 50 W-Kohlefadenlampen empfohlen, mit denen Verf. bessere Erfahrungen gemacht hat als mit Wolframlampen. Für die Betriebsspannung existiert ein optimaler Wert. *Sewig.*

## Ein neues McLeod-Manometer.

*(A pressure controlled McLeod gauge.)*

*Von* Newton Underwood. *Journ. Opt. Soc. Amer.* ***19.*** *S. 78. 1929.*

Die angegebene Bauart des Mc Leod-Manometers (s. Abb.) unterscheidet sich von ihren Vorgängern durch die Art der zum Hochdrücken des Quecksilbers dienenden Vorrichtung. Die Verzweigungsstelle von Kugel und Parallelrohr liegt in Barometerhöhe über dem Quecksilberbehälter *R*, der so groß ist, daß er das im Steigrohr befindliche Quecksilber noch aufzunehmen vermag, daß es also bei Atmosphärendruck im Rezipienten nicht etwa bei *F* überlaufen kann. *S* ist ein nach der Atmosphäre zu öffnender Hahn, *B* ein Zerstäubergummiball, *V* ein mit Feder belastetes Rückschlagventil (Motorventil mit einer durch Ausglühen geschwächten Feder) und *F* ein [Filter zum Zurückhalten von Staub oder sonstigen Verunreinigungen. Die Messung geht in der Weise vor sich, daß der Hahn *S* abgesperrt und mittels des bis zu 50 oder 55 cm Hg liefernden Balles komprimiert wird. — Vor den handelsüblichen mit Vorvakuum und Atmosphärendruck betätigten abgekürzten Mc Leod-Manometern, wie sie in Deutschland z. B. von Hanff und Buest hergestellt werden und die ebenfalls recht bequem sind, hat die beschriebene Konstruktion nach Meinung der Ref. den einzigen Vorteil, daß das bei plötzlichem Einbrechen von Luft auftretende Zurückschlagen vermieden wird. Dies wird aber auch bei dem handelsüblichen abgekürzten Manometer mit seitlich angebrachtem Quecksilberbehälter verhindert. Aufbau und Betätigung sind bei der hier beschriebenen Konstruktion verwickelter. *Sewig.*




## Nichtporöse Aluminiumlegierungen für vakuumdichte Gußstücke.

*(A non porous aluminium alloy for vacuum chamber castings.)*

*Von* Edgar C. Nichols. *Journ. Opt. Soc. Amer.* ***19.*** *S. 164—165. 1929.*

Als Material für vakuumdichte Gußstücke wird die feinkörnige, wenig poröse, gut vergießbare Legierung von 5% Silizium und 95% Aluminium empfohlen. *Sewig.*

---

# Bücherbesprechungen.

**Ingenieur-Archiv.** Unter redaktioneller Mitwirkung von A. Betz, A. Hertwig, K. v. Sanden herausgegeben von R. Grammel. In zwanglos erscheinenden, einzelberechneten Heften von 100—120 S. Umfang. Julius Springer, Berlin 1929.

Die neue Zeitschrift, nach Aufbau und Inhalt bestimmt, insbesondere die Beziehungen zwischen der wissenschaftlichen Mechanik und Thermodynamik einerseits und dem Maschinen- und Bauingenieurwesen andrerseits zu pflegen, hat im September 1929 mit ihrem 1. Heft (122 S. m. 41 Abb.; R.M 9,60) ihre Tätigkeit begonnen und ist durch die Hirschwaldsche Buchhandlung, Berlin NW 7 zu beziehen. *G.*

**G. Berndt**, Grundlagen und Geräte technischer Längenmessungen. Mit einem Anhang von H. Schulz. 2. verm. u. verb. Aufl. 8⁰. XII, 374 S. m. 581 Textabb. Julius Springer, Berlin 1929. Geb. RM 43,50.

Das hier angezeigte Buch von Berndt, bei seinem ersten Erscheinen in *dieser Zeitschrift* **42**. *S. 61. 1922* besprochen, legt durch das Anwachsen seines äußeren Umfanges Zeugnis ab von der außerordentlichen Tätigkeit, die in der verhältnismäßig kurzen Zeitspanne von etwa 7 Jahren auf dem Gebiete des Meßwesens entfaltet worden ist. Ist doch das verarbeitete Schrifttum von etwa 200 Quellennachweisen auf gegenwärtig rd. 800 angewachsen. Dieser umfassende Stoff ist statt in vier jetzt in sechs größere Abschnitte eingeordnet: Die Entwicklung des Meßwesens, Strichmaße und ihre Messung, Endmaße und ihre Messung, Technische Meßgeräte mit Maßanzeige, Feste Lehren und zum Schluß der Anhang von H. Schulz über physiologische Fehler und über die Zurückführung des Meters auf die Wellenlänge des Lichtes. Es ist selbstverständlich, daß alle wichtigen Fortschritte auf diesem großen und interessanten Arbeitsgebiet Erwähnung gefunden haben. Das inzwischen gegründete Institut für Meßkunde und Grundlagen des Austauschbaues an der Technischen Hochschule Dresden, dessen Leitung Berndt übernommen hat, hat zweifellos wesentliches für die Weiterentwicklung des hier behandelten Arbeitsgebietes geleistet.

So bietet das Berndtsche Werk ein unentbehrliches Hilfsmittel nicht nur für den Meßtechniker und Normeningenieur, sondern auch für alle Werkstätten, die auf dem Gebiete technischer und wissenschaftlicher Meßinstrumente Neuzeitliches und Schöpferisches leisten wollen. *G.*

**A. König**, von Wien und Harms, Bd. 20, Handbuch der Experimentalphysik, Geometrische Optik. 2. Teil. Gr. 8⁰. IX, 572 S. mit 258 Abb. Leipzig, Akadem. Verlagsges. 1929. Geb. 52 RM.

Diese Darstellung durch den dienstältesten wissenschaftlichen Mitarbeiter der Zeissischen Werkstätte ist besonders reichhaltig, und dem Leser dieser Zeitschrift kann das Werk nur auf das Wärmste empfohlen werden. Der ganzen Anlage des Handbuches entsprechend erfordert die Darstellung der optischen Geräte und ihrer Teile (S. 197—542) etwa doppelt soviel Raum als die einleitende Theorie der Abbildung. Bei aller Knappheit der Darstellung sind die wichtigeren Formeln alle wiedergegeben und meistenteils auch abgeleitet worden. Es ist bekannt, daß Gullstrand gegen Czapskis Ableitung der Gesetze der kollinearen Einleitung Bedenken erhoben hat. Daher wählt der Verfasser, der Gullstrands große mathematische Untersuchungen auch eingehender berücksichtigt, einen andern Weg. Da der allgemeinste Fall, wie er bei der Brechung und Spiegelung an optischen Geräten vorkommt, der einer sphäroidischen Fläche ist und daneben nur noch torische und zylindrische Flächen zu berücksichtigen sind, so kann der Verfasser seine Darstellung auf dieser Grundlage aufbauen.

Geht man nun auf den Inhalt der einzelnen Kapitel ein, soweit er besonders bemerkenswert erscheint, so legt das

I. Kap.: die Abbildung erster Ordnung, zunächst das Flächenelement doppelter Krümmung zugrunde. Für die allgemeineren Sturmschen Formeln werden nur die Quellen angegeben, die Youngschen Formeln dagegen abgeleitet, und aus ihnen folgen die neben andern hier in Betracht kommenden Gullstrandschen Grundgleichungen, die Zusammensetzung zweier Abbildungen und die Sonderfälle von Kugelflächen (Linsen) und von Prismen. Die verschiedenen Arten der verzeichnungsfreien Abbildung werden behandelt, und schließlich findet sich noch Gullstrands Linienabbildung.

II. Kap.: die Durchrechnungsformeln für Strahlen innerhalb und außerhalb des Achsenschnitts.

III. Kap.: die Bildfehler für eine Farbe bringt neben den Sätzen von Fermat und Malus die charakteristische Funktion sowie die Arbeiten über den Sinus- und den Kosinussatz. Das Wesen der Bildfehler wird an dem einfachen, aber alles Wichtige schon enthaltenden Falle der Ebene erörtert. Dabei wird die Seitenabweichung nicht allein in Polarkoordinaten, sondern auch in rechtwinkligen gegeben, was manche Vorteile bietet. Bei der Behandlung der Seidelschen Theorie kommt es dem Verfasser nicht wie in einem früheren Buche hauptsächlich auf Kürze an, sondern er will die differentialen Zusammenhänge gleich bei der Ableitung hervortreten lassen.

Eine neue Ableitung des Petzvalschen Satzes zeigt die wahre Grundlage dieser so überraschend einfachen Beziehung auf, und nach der einleuchtenden Darstellung (S. 68) des Unterschiedes von tangentialer und sagittaler Bildkrümmung lassen sich die übrigen Seidelschen Bildfehler durch Differentiation und Integration ableiten; nur eine einfache Beziehung zwischen den Komagliedern muß (S. 70) durch eine besondere geometrische Betrachtung hergestellt werden. Den Schluß bilden Sonderfälle und sphäroidische Flächen, wobei auch die Kardioidfläche behandelt wird.

IV. Kap.: die geometrische Behandlung der Aberrationen nach Gullstrand, auf flächentheoretischen Überlegungen aufgebaut, geht auf seine Behandlung der Brennflächen und Zerstreuungsfiguren ein sowie auf seine Erweiterungen der Seidelschen Theorie, namentlich auch des Petzvalschen Satzes.

V. Kap.: die Farbenabweichungen sind nach der schon 1904 entwickelten Weise des Verfassers mit Differenzenformeln behandelt. Bei größerer Genauigkeit fallen sie nicht wesentlich verwickelter aus als die Differentialformeln. So gilt (S. 107/8) der Satz, daß drei unendlich benachbarte Farben bei einer Flächenfolge mit endlichen Dicken und Abständen nur vereinigt werden können, wenn entweder der Ding- oder der Bildpunkt virtuell ist, nicht mehr in dem für den Optiker wichtigen Falle, daß es sich um endliche Verschiedenheiten der drei Farben handelt.

Kap. VI.: die Strahlenbegrenzung. Hier wird die vollkommene Abbildung der Blenden erst nachträglich vorausgesetzt, die allgemeinen Bestimmungen enthalten diese Einschränkung nicht.

Kap. VII.: die Strahlungsvermittlung wird auf den Straubelschen Satz gegründet. Zu dem Kirchhoffschen Satz gehören die experimentelle Bestätigung durch Smoluchowski und verschiedene weniger bekannte Versuche Abbes (S. 125). Die Abbeschen Strahlungssätze werden ausführlich mit seinen eigenen Worten mitgeteilt, und bei den Lichtverlusten durch Absorption und Reflexion finden sich eingehende graphische Darstellungen und Tabellen. Der Schlußabschnitt über die Lichtfilter bringt eine reiche Zusammenstellung von Quellenangaben.

Kap. VIII.: die Abbildung als Beugungserscheinung. Hier sind Strehls wichtige Arbeiten eingehend berücksichtigt worden, die auch die Theorie der Abbeschen sekundären Abbildung gefördert haben.

Kap. IX.: das Zusammenwirken des Auges mit einem optischen Gerät. Dafür sei besonders auf die Behandlung der Vergrößerung und der Kontrasttheorie hingewiesen.

Kap. X.: Mit der Theorie der Prismen und Spiegel schließt der theoretische Teil.

Wichtige Prismen (z. B. Umkehrprismen) und Spiegel (z. B. Tripelspiegel) nach S. 197 gehören schon zu dem die Geräte selbst enthaltenden Teil. Wenn dabei ebenso wie bei den übrigen optischen Geräten im allgemeinen die Geschichte der Entwicklung wegen Raummangel grundsätzlich nicht behandelt wurde, so geben die sorgfältig aufgeführten Quellenschriften sehr wichtige Hinweise darauf.

Kap. XI.: das photographische Objektiv. Seine verschiedenen Bauarten sind sachlich so aufgeführt, daß sie von einfachen Linsen zu Folgen mit immer zahlreicheren Bestandteilen fortschreiten. Auch die Spektrographenobjektive, Chromate und Achromate mit Hohlspiegelanordnungen, werden behandelt. § 2 befaßt sich vom Schwärzungsgesetz ausgehend mit der photographischen Platte und ihrem Auflösungsvermögen.

Kap. XII.: der Scheinwerfer wird in zwei Abschnitten (Wirkungsweise und Bauarten) behandelt.

Kap. XIII.: Makroprojektion, enthält auch einen Abschnitt zur Projektion optischer Versuche und einen Schlußteil über die Kinematographen, insbesondere auch solche mit optischem Ausgleich. Auch die Farben- und die stereoskopische Kinematographie wird behandelt.

Kap. XIV.: die Brille, zeigt zwei Abschnitte über Scheitelbrechwert und Vergrößerung sowie über Brillenglasformen.

Kap. XV. das Fernrohr ist unter den zusammengesetzten Geräten zuerst behandelt worden, um bei Lupe und Mikroskop darauf verweisen zu können, wenn bei der Behandlung des Strahlenganges nach Abbe das zusammengesetzte Mikroskop in Lupe und Fernrohr zerlegt wird. Dieses 15. Kapitel bietet auch über das Buch des Verfassers (s. *diese Ztschr.* ***43.*** *S. 330—332. 1923*) hinaus noch Bemerkenswertes genug.

Kap. XVI.: Lupe und Mikroskop. Die Theorie der sekundären Abbildung nach Abbe ist hier in § 3 vom praktischen Standpunkt weiter durchgeführt als im 8. Kapitel, und auch die lehrreichen Versuche zu dieser Theorie sind eingehender behandelt. Mikroskope für besondere Zwecke und die Nebenapparate (Spiegelkondensoren) werden möglichst vollständig durchgesprochen.

Kap. XVII.: Mikroprojektion und Mikrophotographie. Neben der gewöhnlichen optischen Einrichtung und den Stereoaufnahmen wird besonders die Verwendung von ultraviolettem Licht behandelt, die zuerst von A. Köhler planmäßig ausgebaut wurde.

Kap. XVIII.: die Messung der Bestimmungsstücke optischer Geräte ist in neuerer Zeit namentlich dadurch verfeinert worden, daß Interferenzverfahren zur Prüfung der Bildfehler ausgebildet wurden. Der Verfasser gibt eine sorgfältige Zusammenstellung und geht auch auf die Berechnung der technischen Konstante ein, nach der die Leistung eines Objektivs bestimmt wird. Grundsätzliche Erörterungen leiten die Brennweitenmessungen ein, und im Sinne Abbes werden die Vorteile der Messung der Winkelvergrößerung betont. Der Schlußabschnitt geht auf die Messung der Lichtdurchlässigkeit bei optischen Geräten ein.

Kap. XIX.: die dioptrischen Verfahren zur Messung der Brechzahl werden übersichtlich aufgeführt, doch müßte der Leser für die Meßeinzelheiten auf eingehendere Darstellungen verwiesen werden.

Kap. XX.: Photometrie. Auch Beleuchtungsmesser und Photometer für besondere Zwecke sind eingeschlossen, wie auch zum Schluß die verschiedenen Spektralphotometer behandelt werden.

Kap. XXI. Bücher. Es handelt sich um zusammenfassende Darstellungen der ganzen geometrischen Optik wie ihrer Teilgebiete.

Ein Sach-, ein Namenverzeichnis sowie eine Zusammenstellung der in dem Werke benutzten Bezeichnungen machen den Schluß.

Es wird schwerlich einen Leser geben, der dem Umfang der Kenntnis, der Sorgfalt und der Urteilsfähigkeit des Verfassers nicht volle Anerkennung zollen wird. Für einen deutlichen Überblick über das hier bestellte ausgedehnte Feld wird das Königsche Buch noch lange unentbehrlich bleiben. *M. v. Rohr.*

**W. Guertler** und **W. Leitgebel,** Der metallische Werkstoff. Bd. I. Vom Erz zum metallischen Werkstoff. 8°. XXIII, 426 S. m. 176 Abb. u. 30 Tabellen. Akadem. Verlagsges. m. b. H. Leipzig 1929. Geb. 32 RM.

Ein nicht zu unterschätzender Teil der physikalischen Forschung der Gegenwart ist auf die Untersuchung der Metalle gerichtet. Ein erheblicher Anteil der Erfolge der heutigen Physik, z. B. Erhöhung der Meßgenauigkeit, Verfeinerung der Meßmethoden, Entdeckung neuer Effekte ist nur der zunehmenden Kenntnis der Eigenschaften der Stoffe, insbesondere der metallischen Werkstoffe zu danken. Unverständlicherweise erfreut sich trotzdem das Studium von Werkstofffragen nur geringer Wertschätzung. Daher erklärt sich auch, daß besonders in Physikerkreisen die Unkenntnis in bezug auf Werkstoffgewinnung und Zusammensetzung sehr verbreitet ist. Diesem Mangel abzuhelfen ist das vorliegende Buch in hohem Maße geeignet.

Zum Verständnis des Gebietes sind hüttenmännische Erfahrungen und Erkenntnisse neben chemischen und solchen, die auf dem physikalischen Zweig der Metallkunde erwachsen sind, unerläßlich. Diese werden in dem Buch in einer auch dem Physiker sehr verständlichen Form systematisch nach den heute geltenden Anschauungen zusammengestellt. Auch die selteneren Werkstoffe und solche, die erst der hüttenmännischen Kunst der Neuzeit zugänglich wurden, deren Ausnutzung für Wissenschaft und Technik vielfach noch der Zukunft vorbehalten ist, finden Berücksichtigung.

Der Instrumentenfachmann, dem naturgemäß Werkstofffragen näher liegen, wird in dem Buche wertvolle Anregungen finden; der Physiker wird auf Probleme stoßen, deren Studium lohnenden Erfolg verspricht.

Die reiche Ausstattung des Buches mit Abbildungen, meist Kurvendarstellungen physikalischer Eigenschaften, und Tabellen machen das Buch besonders wertvoll. Ein ausführliches Literaturverzeichnis unterstreicht den Charakter als Handbuch, den man dem Buch seiner ganzen Anlage nach mit Recht zusprechen muß. *W. Keil.*

**Michael Pupin,** Vom Hirten zum Erfinder. Autoris. Übersetzung von Jessy Schmidt. Felix Meiner, Leipzig. 1929.

Der erste Teil des Buches liest sich wie ein spannender Abenteuerroman. Das schier Unglaubliche gelingt. Der ehemalige serbische Bauernsohn, der Kuhhirt aus dem Banat, brennt nach Amerika durch, kommt dort, mit 5 cent in der Tasche und einem echt jugendlichen Stolz auf die alten Traditionen seiner Heimat, an, wird Tagelöhner, Arbeiter, Angestellter, Schüler und Student. Amerikanischer Bürgerbrief und ein Stipendium begleiten ihn zurück nach Europa auf dessen hohe Schulen: Cambridge, Berlin und Paris. Nun beginnt der Teil des Buches, der für die Leser dieser Zeitschrift von größtem Interesse ist. Ein Vergleich amerikanischer, englischer und deutscher Universitäten — fällt sehr zugunsten Deutschlands aus, dessen physikalische Wissenschaft damals unter dem Szepter von Helmholtz stand. Die Gründung der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt als die eines Musterinstitutes wird gerühmt. Stolz vermag der Amerikaner aber auch zu erzählen, daß neuerdings Amerika dieses Muster nachgeahmt — und übertroffen hat. Wenigstens soweit es sich um die materielle Fundierung der Anstalten handelt, müssen wir dem Autor beistimmen. Die Notlage der Zeit drückt sehr stark auf die deutsche Forschung.

Für die Leser dieser Zeitschrift bringt das Buch noch einen weiteren Schatz. Der Autor versteht es, die Psychogenese seiner Erfindungen, vor allem die der Pupinspule, die ein Telefonieren durch lange Kabel erst ermöglichte, außerordentlich plastisch darzustellen. Eine ununterbrochene Erlebniskette läuft von den ersten Erfahrungen des Hirtenjungen auf den Weiden des Banat bis zur Vollendung der Pupinisierung von Kabeln durch die Firma Siemens & Halske. Wer dieses Buch anschafft, hat etwas für seine heranwachsenden Jungen — und etwas für sich.

*Viktor Engelhardt.*

**Die Schalltechnik,** 1. S. 1—100. 1928 und 2. S. 1—48. 1929; herausgegeben von W. Genest. Verlag Emil Zorn A.-G. Berlin.

Die vorliegende neue Zeitschrift will ein im Zeitalter der Technik mehr und mehr in den Vordergrund rückendes Gebiet der angewandten Physik pflegen. Sie ist die erste und bisher einzige Sonderzeitschrift für Schalltechnik und will entsprechend dem Arbeitsprogramm der auf dem Gebiet der Bauakustik im weitesten Umfange führenden Firma Emil Zorn A.-G. sowohl Theorie als auch deren praktische Auswertung behandeln und die Mittel zeigen, deren die Bauakustik zur Erreichung ihrer verschiedenen Ziele bedarf. Dementsprechend umfaßt der Inhalt der bisher erschienenen Hefte neben Arbeiten, die grundsätzliche physikalische und technische Fragen behandeln, solche aus der Feder namhafter Baufachleute.

So bringt die Zeitschrift, um nur einige Überschriften zu nennen, Aufsätze:
Über Ultraschalle. Von R. Berger (Schriftleiter der neuen Zeitschrift),
Wahrnehmung von Schwingungen. Von W. Genest,
Schutz gegen Übertragung von Erschütterungen. Von A. Benzel,
Die Erfindung der Schallmessung. Von L. Löwenstein,
Die Beurteilung von Isolierstoffen gegen Erschütterungsübertragung. Von G. Lindemann,
Erschütterungsdämpfung. Von A. Steinbach und
Schallsicherheit der Gebäude. Von E. Michel.

Die zitierten und weitere Aufsätze eröffnen dem Leser einen interessanten Einblick in die vielgestaltige Problematik der modernen Schalltechnik. Es zeigt sich, daß das Neuland, das das genannte Gebiet für die Mehrzahl der Physiker und Ingenieure darstellt, zahlreiche nicht nur reizvolle, sondern auch ungemein aussichtsreiche und wirtschaftlich wichtige Fragen aufwirft. Die Zeitschrift, die von ihrem ersten Heft an einen ausgezeichneten Eindruck hinterläßt, stellt eine wertvolle Bereicherung des physikalisch-technischen Schrifttums dar und verspricht nachhaltige Wirkungen hinsichtlich Vertiefung und Verbreiterung der schalltechnischen Forschungsarbeit.

*W. Keil.*

Nachdruck verboten.

Verantwortlich für die Redaktion: Oberregierungsrat Professor Dr. F. Göpel in Charlottenburg.
Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

# Zeitschrift für Instrumentenkunde.

*Kuratorium:*

Prof. Dr. E. **Kohlschütter** in Potsdam, Vorsitzender, Prof. Dr. R. **Straubel** in Jena,
Prof. Dr. F. **Weidert** in Berlin-Zehlendorf, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat i. R. Prof. Dr. F. Göpel in Charlottenburg-Berlin.

50. Jahrgang. **Mai 1930.** Fünftes Heft.

# Die Tätigkeit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt im Jahre 1929.

(Fortsetzung von S. 246.)

## Abteilung II.

### A. Laboratorium für Grundeinheiten[1].

*86. Übersicht über die Prüfungsarbeiten[1].*

3082 (73) Proben Leitungsmaterial,
1 (1) Proben Widerstandsmaterial,
159 (102) Einzelwiderstände,
48 (63) Widerstandsapparate, einschl. Verzweigungswiderstände, Niederspannungsteiler, sowie Strom- und Spannungswandler-Teiler bzw. Meßzweige [1896 (1697) Abteilungen],
4 (0) Verschiedene Apparate (1 Galvanometer, 3 Spulen),
190 (149) Internationale Westonelemente,
8 (7) Westonelemente mit bei 4⁰ gesättigter Lösung,
10 (62) Proben Merkurosulfat für Normalelemente.

Für die verschiedenen Laboratorien der Reichsanstalt wurden geprüft:
2 Drahtwiderstände,
8 Widerstandsapparate (mit 316 Abteilungen),
5 Wechselstromwiderstände,
10 Normallampen und
1 Normalelement.

Die Zunahme der Prüfungsanträge ist in diesem Jahre noch größer als in den vergangenen Jahren. Es war deshalb nicht möglich, die im Zusammenhange mit der internationalen Normalisierung des Aluminiums für Freileitungszwecke ausgeführte Untersuchung von 3000 Aluminiumproben mit den Arbeitskräften des Laboratoriums allein durchzuführen; es mußten vielmehr von der Industrie bezahlte Hilfskräfte zur Unterstützung herangezogen werden.

Die Abweichungen vom Sollwerte lagen bei den internationalen Westonelementen bei 174 Elementen unterhalb $\pm 1 \cdot 10^{-4}$ Volt, bei 9 Elementen zwischen 1,1 und $2{,}0 \cdot 10^{-4}$ Volt, bei 2 Elementen über $3{,}0 \cdot 10^{-4}$ Volt; 5 Elemente waren unbrauchbar.

Von den 8 geprüften Westonelementen mit bei $4^0$ gesättigter Lösung waren 3 unbrauchbar.

### B. Laboratorium für Wechselstromnormalien und Hochfrequenz[2].

134 (149) Induktivitäten von Spulen,
941 (1358) Kapazitäten von Kondensatoren,
391 (438) Verlustwinkel von Kondensatoren,

[1] v. Steinwehr, Schulze.
[2] Giebe, Zickner, Scheibe, Preisler.

| | | |
|---|---|---|
| 1 | (3) | Kapazitätsmeßbrücken, |
| 0 | (1) | Mikrofaradmeter, |
| 0 | (2) | Dielektrizitätskonstante und Verlustwinkel fester Isolatoren, |
| 185 | (157) | Widerstände von Spulen bei Gleich- und Wechselstrom, |
| 52 | (46) | Spulenkapazitäten, |
| 153 | (638) | Wellenlängen, |
| 134 | (325) | Quarzresonatoren und Quarzoszillatoren, |
| 47 | (0) | Stromstärken bei Hochfrequenz. |

Für die Laboratorien der Reichsanstalt wurden geprüft:

| | | |
|---|---|---|
| 81 | (121) | Kapazitäten von Kondensatoren, |
| 14 | (34) | Verlustwinkel von Kondensatoren, |
| 0 | (3) | Dielektrizitätskonstante und Verlustwinkel fester Isolatoren. |

### C. Röntgenlaboratorium[1].

| | | |
|---|---|---|
| 84 | (83) | Dosismesser verschiedener Art, |
| 8 | (5) | Röntgenschutzstoffe, |
| 1 | (1) | Röntgenröhren, |
| 2 | (0) | Röntgenapparate, |
| 3 | (9) | Stromnormale. |

### D. Gleichstromlaboratorium[2].

| | | |
|---|---|---|
| 92 | (63) | Apparate zur Messung der Spannung und Stromstärke, |
| 62 | (55) | „ „ „ „ Leistung, |
| 20 | (38) | „ „ „ „ Arbeit (Elektrizitätszähler), |
| 11 | (13) | Vor- und Nebenwiderstände, |
| 0 | (16) | Sonstige Widerstände, |
| 42 | (101) | Primärelemente, |
| 8 | (7) | Akkumulatoren, |
| 11 | (19) | Systemprüfungen von Gleich- und Wechselstromzählern. |

Für die einzelnen Laboratorien der Reichsanstalt wurden geprüft:

| | | |
|---|---|---|
| 50 | (37) | Normalwiderstände, Strom-, Spannungs- und Leistungsmesser. |

### E. Wechselstromlaboratorium[3].

#### I. Meßapparate.

| | | |
|---|---|---|
| 23 | (3) | Spannungs- und Stromzeiger, |
| 16 | (18) | Leistungszeiger, |
| 63 | (55) | Elektrizitätszähler im Laboratorium, |
| 4 | (5) | „ „ Betriebe, |
| 243 | (187) | Strom- und Spannungswandler, |
| 3 | (4) | Frequenz- und Phasenmesser, |
| 0 | (3) | Kompensationsapparate und Brücken. |

#### II. Wechselstromgrößen.

| | | |
|---|---|---|
| 4 | (8) | Zeitkonstanten von Widerständen. |

#### III. Technische Apparate und Installationsmaterial.

| | | |
|---|---|---|
| 3 | (3) | Heizapparate, |
| 46 | (66) | Kleintransformatoren und Relais, |
| 23 | (5) | Schalter, Steckvorrichtungen und dergleichen, |
| 0 | (1) | Rundfunkgeräte, |
| 0 | (1) | Elektromedizinische Apparate, |
| 2 | (8) | Verschiedenes. |

---

[1] Behnken, Jaeger. [2] Schmidt, Scheld.

[3] Schmidt, Reichardt, Engelhardt (bis 30. 9. 29), Goens (seit 1. 10. 29).

IV. Systemprüfung von Meßwandlern.

2 (2) Stromwandler.

F. Hochspannungslaboratorium[1].

7 (42) Kondensatoren für Hochspannung,
12 (6) Hochspannungsapparate,
408 (376) Sorten fester Isoliermaterialien,
4 (4) Sorten Isolatoren,
3 (18) Sorten Vergußmassen und Lacke,
6 (35) Sorten Öle,
77 (80) Sorten Kabel und Leitungen,
5 (36) Sorten Isolierüberzüge,
14 (10) Verschiedenes.

G. Maschinenlaboratorium[2].

26 (28) Generatoren und Motoren,
0 (4) Transformatoren,
1 (0) Anlasser,
5 (8) Apparate,
2 (1) Abnahme von Maschinen.

H. Magnetisches Laboratorium[3].

39 (33) Proben Flußeisen, Gußeisen, Magnetstahl,
8 (0) Proben Stahldraht und Stahlband,
143 (130) Proben Dynamo- und Transformatorenblech,
1 (21) Permanente Magnete,
1 (0) Weicheisenteile von Strommessern,
3 (0) Proben Messing,
10 (2) Windungsflächen von Normalspulen.

Von den Blechproben wurden 68 (65) wattmetrisch [161 (162) Verlustziffern, an 8 (0) Proben Trennung in Wirbelstrom- und Hystereseverlust], 71 (52) statisch untersucht. An 2 (0) Stab- und 3 (11) Blechproben wurde die Anfangspermeabilität gemessen und an 2 (0) Stäben und 1 (2) Blechproben der Sättigungswert bestimmt. Die Zahl der beschleunigten Prüfungen betrug 9 (20).

Die Anzahl der Prüfungen im magnetischen Laboratorium ist wieder gegenüber dem Vorjahre etwas gestiegen. Auch diesmal wurde das Laboratorium durch mündliche Beratungen und Auskünfte über meßtechnische Fragen vielfach in Anspruch genommen.

*87. Referat für das elektrische Prüfwesen*[4].

*a) Zulassung von Zählern und Meßwandlern.*

Es wurden zur Beglaubigung zugelassen:

Gleichstromzähler: 1 Abänderung.

Zähler für ein- oder mehrphasigen Wechselstrom: 6 Abänderungen bzw. Zusätze.

Stromwandler: 2 neue Systeme und 1 Zusatz.

---

[1] R. Vieweg, Pfestorf, Fitger (bis 30. 4.).
[2] V. Vieweg, Linckh, Kluge.
[3] Steinhaus, Kußmann.
[4] Schmidt, Scheld.

*b) Tätigkeit der Prüfämter.*

Eine Übersicht über die Tätigkeit der elektrischen Prüfämter gibt die nachstehende Tabelle.

Tabelle.

| Meßgeräte | Ilmenau | Hamburg | München | Nürnberg | Kaiserslautern | Frankfurt a.M. | Bremen | Königsberg Pr. | Halle a. S. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. Zähler | | | | | | | | | |
| im ganzen geprüft . . . . | 6545 | 75 | 39681 | 3791 | 59 | 11441 | 17069 | 1456 | 52 |
| Zahl der gebrauchten Zähler, die vor der Instandsetzung und Einregulierung geprüft wurden | | | | | | | | | |
| a) für Gleichstrom . . . . | 1999 | 39 | 17707 | 51 | 1 | 24 | 277 | 462 | 11 |
| b) für Wechselstrom . . . | 4540 | 34 | 1233 | 506 | 51 | 4056 | 154 | 471 | 14 |
| Von diesen hielten: die Beglaubigungsfehlergrenzen nicht ein: | | | | | | | | | |
| a) für Gleichstrom . . . . | 684 | 2 | 2426 | 5 | — | 1 | 107 | 130 | 3 |
| b) für Wechselstrom . . . | 1193 | 5 | 330 | 16 | 6 | 881 | 14 | 171 | 8 |
| die Verkehrsfehlergrenzen nicht ein; | | | | | | | | | |
| a) für Gleichstrom . . . . | 1112 | 25 | 11414 | 22 | — | 11 | 129 | 176 | 8 |
| b) für Wechselstrom . . . | 616 | 9 | 340 | 7 | 27 | 114 | 34 | 60 | 3 |
| 2. Tarifuhren, Zeitzähler und andere Nebenapparate . . | 24 | 6 | 7429 | 144 | — | 184 | 4624 | — | — |
| 3. Strom-, Spannungs- und Leistungsmesser und andere Meßgeräte . . . . . . . . | 36 | 218 | 450 | 240 | 8 | 46 | 75 | 11 | 28 |
| 4. Isolations- und Installationsmaterial . . . . . . | 21 | 290 | 363 | 34 | 1 | — | 55 | — | — |
| 5. Elektrische Gebrauchsgegenstände . . . . . . . | 52 | 790 | 10 | 24 | — | 2 | 6 | — | — |

*c) Errichtung neuer Prüfämter.*

Im Laufe des Berichtsjahres wurden 2 neue Prüfämter eröffnet. Das Prüfamt Nr. 9 beim Thür. Dampfkessel-Revisions-Verein zu Halle a. d. Saale und das Prüfamt Nr. 10 bei der Betriebsverwaltung Essen des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes.

*d) Teilnahme an internationalen Konferenzen[2].*

Die im Jahre 1927 auf der Tagung der International Elektrotechnical Commission in Bellagio begonnene Bearbeitung von internationalen Vorschriften von Elektrizitätszählern wurde in einer nach Berlin für den 6. und 7. November 1929 einberufenen Sitzung der Internationalen Meßinstrumente - Kommission fortgesetzt. Gleichzeitig wurden entsprechende Arbeiten für Meßwandler in Angriff genommen. In der Sitzung waren die Länder Amerika, Deutschland, Frankreich, Groß-Britannien, Italien, Polen, Schweiz und Tschechoslowakei vertreten. Die umfangreichen vorbereitenden Arbeiten lagen wiederum in den Händen des Vertreters der Reichsanstalt. Die Arbeiten konnten zu einem wesentlichen Teil zum Abschluß gebracht werden.

*88. Seriengesetz der Dehnungsschwingungen von Quarzstäben[3].*

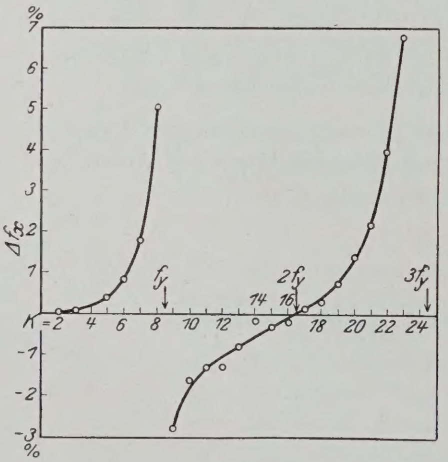



Abb. 2.

Nach der im vorigen Bericht skizzierten neuen Auffassung über den Einfluß der Querdimensionen auf die

[1] Seit 1. 6. 29.

[2] Schmidt. [3] Giebe, Blechschmidt.

ongitudinalen Eigenfrequenzen von Quarzstäben sind mit den Dehnungsschwingungen in der Längsrichtung des Stabes, den „Längsschwingungen", vermöge der Querkontraktion Dehnungsschwingungen in Richtung der Querdimensionen, „Querschwingungen", mechanisch gekoppelt. Neuerdings ausgeführte Messungen haben die Richtigkeit dieser Auffassung noch weiter bestätigt, wie an Hand der Abb. 2 erläutert werden soll. Für einen Quarzstab rechteckigen Querschnitts von der Länge $x = 50$ mm, den Querdimensionen $y = 6$ mm, $z = 1{,}5$ mm ($x$ bzw. $z$ fällt in Richtung der elektrischen bzw. optischen Achse) sind als Ordinaten die relativen Abweichungen $\Delta f_x = \frac{f_{x,k}}{F_{x,k}} - 1$ zwischen den beobachteten Eigenfrequenzen $F_{x,k}$ der Längsschwingungen und den ganzzahligen Vielfachen $k \cdot f_{x,1} = f_{x,k}$ der beobachteten Grundfrequenz $f_{x,1}$ über den Ordnungszahlen $k$ als Abszissen eingetragen. An den durch Pfeile gekennzeichneten Stellen liegen die Eigenfrequenzen $f_y$, $2 f_y$, $3 f_y$ der Querschwingungen, wenn man sie aus dem bekannten Elastizitätsmodul wie für einen sehr dünnen Stab der Länge $y$ berechnet. Die Abweichungen $\Delta f_x$ steigen unterhalb der Eigenfrequenz $f_y$ mit zunehmender Ordnungszahl $k$ an, und zwar um so schneller, je näher die harmonischen Frequenzen $f_{x,k}$ dem Werte $f_y$ kommen; beim Überschreiten des Resonanzpunktes ändern sie sich sprunghaft und haben oberhalb $f_y$ das umgekehrte Vorzeichen wie unterhalb. Die wirklichen Eigenfrequenzen $F_{x,k}$ der Längsschwingungen sind also unterhalb $f_y$ niedriger, oberhalb $f_y$ höher als die harmonischen Frequenzen. Dieser experimentelle Befund entspricht völlig der Wienschen Koppelungstheorie. In der Nähe der zweiten Oberschwingung, $2 f_y$, der Querschwingung sind die beobachteten Eigenfrequenzen der Längsschwingungen sehr nahe harmonisch; die Querschwingung $2 f_y$ ist also durch die Längsschwingungen nicht anregbar, was in Symmetriegründen seine Erklärung findet und für alle geradzahligen Oberschwingungen gelten würde. Mit weiter zunehmender Ordnungszahl $k$ wirkt dann die Eigenschwingung $3 f_y$ in ähnlicher Weise wie $f_y$. Die Abweichungen $\Delta f_x$ werden wieder positiv und steigen schnell mit $k$ an. Experimentell wurde weiter festgestellt, daß bei gleichbleibendem und gleich orientiertem Querschnitt die Größe $\Delta f_x$ für eine und dieselbe Frequenz, wie man auch Stablänge und Ordnungszahl $k$ wählen mag, immer denselben Wert hat. Es wurde versucht, für die Eigenfrequenzen zwischen $f_{y,1}$ und $f_{x,k} \approx f_y$, also für den ersten Kurventeil der Abbildung, aus den Beobachtungen eine einfache Funktion zu finden, welche die Änderung des Koppelungskoeffizienten von Längs- und Querschwingungen mit der Ordnungszahl $k$ darstellt. Diese Versuche hatten Erfolg bei der Annahme einer Kraftkoppelung zwischen beiden Schwingungen und führten zu der folgenden Formel:

$$\left[1 - \left(\frac{F_{x,k}}{f_{x,k}}\right)^2\right] \cdot \left[1 - \left(\frac{F_{x,k}}{f_y}\right)^2\right] = (a \cdot k - b)^2,$$

wo $a$ und $b$ zwei empirische Konstante sind. Die eine Wurzel dieser Gleichung ergibt die Frequenzen $F_{x,k}$ in guter Übereinstimmung mit der Beobachtung bis kurz vor den Resonanzpunkt bei $f_y$. Die Formel gleicht der aus der Wienschen Koppelungstheorie sich ergebenden, mit dem einzigen Unterschiede, daß auf der rechten Seite nicht ein konstanter, sondern mit $k$ sich ändernder Koppelungskoeffizient steht.

*89. Temperaturkoeffizienten der elastischen Konstanten von Metallkristallen bei tiefen Temperaturen*[1].

Die im vorigen Tätigkeitsbericht erwähnten Untersuchungen der Torsions- und Transversalschwingungen endbelasteter Stäbe auf ihre Brauchbarkeit zur Berechnung der Absolutwerte der elastischen Konstanten wurden durch weitere Messungen an polykristallinen Stäben ergänzt. Die erhaltenen Ergebnisse lassen schließen, daß offenbar bei den Transversalschwingungen die gewöhnlich angewandte Differentialgleichung zur Beschreibung des Schwingungsvorgangs nicht ausreicht, und zwar auch dann nicht, wenn die Rotationsenergie der Stabquerschnitte in ihr streng berücksichtigt wird. Das gleiche ließen Messungen von Biegungsschwingungen beiderseits freier polykristalliner Stäbe von kreisförmigem und rechteckigem Querschnitt erkennen, bei denen systematische Abweichungen zwischen den aus Grundton und erstem Oberton berechneten Elastizitätsmoduln gefunden wurden, die auch hier durch Berücksichtigung der Rotation der Querschnitte nicht zu beseitigen waren. Ähnliche Beobachtungen wurden bereits von Giebe und Scheibe[2] an Quarzkristallstäben gemacht, die piezoelektrisch zu Transversalschwingungen bis zu hohen Ordnungszahlen angeregt waren. Durch einen

[1] Goens. [2] Giebe und Scheibe, *Zeitschr. f. Instrkde.* **47.** *S. 276. 1927.*

Korrektionsfaktor, der aus einer von Timoschenko[1] angegebenen Erweiterung der grundlegenden Differentialgleichung (Berücksichtigung der bei der Biegung auftretenden Scherung) abgeleitet wurde, konnte bei unbelasteten polykristallinen Stäben eine wesentliche Verbesserung der Übereinstimmung erzielt werden. Ähnliches ist, nach der Form der von Giebe und Scheibe benutzten halbempirischen Formel zur Darstellung ihrer Ergebnisse zu urteilen, auch bei den Quarzkristallstäben zu erwarten.

Im übrigen wurde das bisherige Beobachtungsmaterial für die Veröffentlichung bearbeitet; ein Teil ist im Erscheinen begriffen.

Auf Wunsch von Herrn Dr. E. Schmid-Dahlem wurde die Temperaturabhängigkeit der Konstante $s_{44}$ von einkristallinem Cadmium bis zur Temperatur des flüssigen Wasserstoffs bestimmt.

Im letzten Vierteljahr war eine wesentliche Förderung der Arbeiten wegen anderweitiger dienstlicher Inanspruchnahme nicht mehr möglich.

*90. Spezifischer Widerstand von Zink- und Cadmiumkristallen*[2]. Aus besonderem Anlaß wurde an bereits früher in Gemeinschaft mit Grüneisen untersuchten Zn und Cd-Kristallstäben extremer Orientierung[3] die Bestimmung der spezifischen Widerstände bei Zimmertemperatur parallel und senkrecht zur hexagonalen Achse wiederholt, wobei die ziemlich ungleichmäßigen Querschnitte diesmal nicht mikrometrisch, sondern durch Wägung ermittelt wurden. Die so gefundenen Zahlen waren fast durchweg niedriger als die früher angegebenen Werte und damit in besserer Übereinstimmung mit den von Bridgman[4] mitgeteilten Zahlen, ohne diese indes zu erreichen. Die von Bridgman ausgesprochene Vermutung, daß die höheren spezifischen Widerstände eine Folge der durch Verbiegungen entstandenen Zusatzwiderstände seien, dürfte kaum zutreffen, da die an den Kristallen ausgeführten Widerstandsmessungen in flüssigem Wasserstoff und Helium (Meißner) nur sehr geringe Restwiderstände ergeben hatten.

*91. Internationale Vergleichungen von Ohm u. Volt*[5]. Da es bisher noch nicht wieder möglich war, eine gleichzeitige Vergleichung der elektrischen Normalen der eigene Einheiten besitzenden Länder in der Art und Weise, wie es im Jahre 1910 in Washington geschah, auszuführen, ist man darauf beschränkt, bei Gelegenheit von Reisen wissenschaftlicher Beamter der betr. Institute die Normalen je zweier Länder miteinander zu vergleichen. Die so gewonnenen Ergebnisse sind jedoch, besonders bei den Normalelementen, mit einer nicht unerheblichen Unsicherheit behaftet.

Im Berichtsjahre wurden auf diese Weise Normalwiderstände des *Bureau of Standards* (B.o.S.), des *Electrotechnical Laboratory* (E.T.L.) in Tokyo, der *Chambre Centrale* (Ch.C.) in Leningrad, sowie des *Laboratoire Central d'Electricité* (L.C.E.) in Paris mit den Normalwiderständen der Reichsanstalt (P.T.R.) und z. T. auch der anderen Institute verglichen. Die Reichsanstalt legt ihren bei der letzten Untersuchung über die Ohmrohre[6] gewonnenen Wert zugrunde. Die Werte des B.o.S. und des L.C.E. sind in Washingtoner Einheit, die des *National Physical Laboratory* (N.P.L.) in einer „ähnlichen" nicht näher definierten Einheit ausgedrückt, während über die Einheiten der anderen Länder nichts Näheres mitgeteilt ist. In der folgenden Tabelle sind die mit Hilfe dieser Messungen ermittelten Unterschiede im Werte des Ohm der Reichsanstalt gegenüber den ausländischen Instituten zusammengestellt.

| Herkunft der Widerstände | B.o.S. | B.o.S. | E.T.L. | Ch.C. | L.C.E. |
|---|---|---|---|---|---|
| Datum der Messung: PTR | 26. 7. 29 | 20. 7. 29 | 14. 5. 29 | 14.—24.6.29 | 18. 12. 29 |
| Datum der Messung: fremd. Lab. | 20. 6. 29 | 10.—12.7.29 | 1929 | Mai 1929 | 1929 |
| Einheit der PTR — Einheit des | B.o.S. | N.P.L. | E.T.L. | Ch.C. | L.C.E. |
| Differenz der Einheiten in Hunderttausendsteln | + 1,0 | — 1,7 | + 0,8 | + 0,7 | — 5,2 |

[1] S. B. Timoschenko, *Phil. Mag.* **41.** *S. 744. 1921.* [2] Goens.

[3] Grüneisen und Goens, *Zeitschr. f. Phys.* **26.** *S. 250. 1924.*

[4] P. W. Bridgman, *Proc. Am. Ac.* **63.** *S. 351. 1929.*

[5] v. Steinwehr, Schulze.

[6] *Wissensch. Abh. der Reichsanstalt* **11.** *S. 75. 1927*; *Ann. Phys.* **87.** *S. 769. 1928.*

In bezug auf die Spannungseinheit liegen weniger zahlreiche Messungen vor. Auch sind die Ergebnisse der Vergleichungen nicht so sicher wie bei den Büchsenvergleichungen, da in diesem Falle erstens die Unsicherheiten zweier Einheiten (Ohm und Ampere) in den Wert eingehen und zweitens die EMK der Elemente viel störungsempfindlicher ist als der Widerstandswert der Büchsen. Unter diesen Vorbehalten ergeben sich folgende Differenzen der Spannungseinheit der Reichsanstalt gegenüber der Spannungseinheit anderer Länder:

$$\begin{aligned} \text{P.T.R.—B.o.S.} &= -\ 6{,}8\cdot 10^{-5}, \\ \text{P.T.R.—N.P.L.} &= -\ 7{,}9\cdot 10^{-5}, \\ \text{P.T.R.—Ch.C.} &= \pm\ 0\cdot 10^{-5}, \\ \text{P.T.R.—E.T.L.} &= -\ 6{,}1\cdot 10^{-5}. \end{aligned}$$

*92. Internationale Normalisierung des Aluminiums für Freileitungen (Konferenz in Berlin am 6. 11. 29)*[1].

Entsprechend dem Beschlusse der im Nov. 1928 in Paris abgehaltenen Konferenz des I.E.C. betreffend die internationale Normalisierung des Aluminiums für Freileitungszwecke, zur Festlegung eines Mittelwerts für den spezifischen Widerstand hartgezogenen Aluminiums in jedem der Aluminium erzeugenden Länder wenigstens 1000 Proben Aluminiumdraht zu untersuchen und die Ergebnisse bis zum 1. 4. 1929 dem ständigen Sekretär der I.E.C. in London einzusenden, wurden im Februar und März 1929 1115 Drähte, die aus der Fabrikation des Lautawerks stammend in 5 verschiedenen Walzwerken zu Draht verarbeitet worden waren, gemessen. Die bei der Mittelbildung verwerteten Proben ergaben einen spezifischen Widerstand von 0,02845 bei einer Festigkeit von 18 bis 23 kg/mm², der dem I.E.C. von der Deutschen Kommission in Übereinstimmung mit den von Groß-Britannien und Frankreich vorgeschlagenen Werten empfohlen wurde, während die Vereinigten Staaten für einen niedrigeren Wert eintraten. Zur Klärung der Sachlage wurde außerdem noch eine weitere große Zahl von Aluminiumproben im harten und weichen Zustande untersucht, so daß im Verlaufe des ganzen Jahres etwa 3000 Drahtproben auf Leitfähigkeit geprüft wurden. Der vorgeschlagene Wert wurde dann von der am 6. Nov. in Berlin abgehaltenen Konferenz des I.E.C. zur internationalen Annahme empfohlen, während für weiches Aluminium keine Werte festgesetzt wurden, da außer von Deutschland der Konferenz kein Versuchsmaterial vorgelegt worden war.

Die Festlegung der Werte für weiches Aluminium wird auf der im Sommer 1930 in Stockholm tagenden Konferenz des I.E.C. erfolgen.

*93. Absolute Strommessung*[2].

Nachdem das Internationale Komitee für Maß und Gewicht auf seiner Konferenz zu Paris im Juni 1929 den Vorschlag des beratenden Komitees, in absehbarer Zeit von den internationalen elektrischen Einheiten zu den absoluten Einheiten überzugehen, zum Beschluß erhoben hat, erwächst für diejenigen Institute, denen die Bestimmung und Kontrolle der Grundeinheiten übertragen ist, die Pflicht, wenigstens zwei dieser Einheiten im absoluten System zu verwirklichen. Da bisher an der Reichsanstalt nur eine abschließende Bestimmung über eine Einheit, das Ohm, vorliegt, muß jetzt die Auswertung einer zweiten Einheit in Angriff genommen werden. Obwohl nun manches für die Wahl des Volt spricht, für das bereits eine Meßmethode in Vorschlag gebracht wurde[3], hat man sich doch entschlossen, zunächst eine absolute Strommessung vermittels der Stromwaage auszuführen. Die Versuche sollen im engen Anschluß an die Arbeit des *Bureau of Standards* über den gleichen Gegenstand begonnen werden, da die von diesem Institut gewählte Ausführungsform der Waage die zweckmäßigste zu sein scheint. Während die Waage selbst bei Rueprecht in Wien in Auftrag gegeben ist, werden die übrigen Teile der Anordnung, die eine sehr exakte Ausführung erfordern, in der Werkstatt der Reichsanstalt unter der Leitung von Herrn Keil hergestellt werden.

*94. Widerstandsnormale*[4].

Die übliche Vergleichung der Manganinnormalen und der Anschluß der Gebrauchsnormalen an die Drahtwiderstandseinheit der Reichsanstalt, die in den beiden letzten Jahren wegen Überlastung des Laboratoriums mit Prüfarbeiten unterbleiben mußten, wurden in diesem Berichtsjahre zum größeren Teile ausgeführt und werden demnächst beendet sein. Soweit es sich bis jetzt übersehen läßt, sind keine die Meßfehler übersteigenden Änderungen eingetreten.

---

[1] v. Steinwehr.

[2] v. Steinwehr, Gremmer (seit Mitte Dezember 1929).

[3] Tätigkeitsbericht der Reichsanstalt für 1924, *S. 11*.

[4] v. Steinwehr und Schulze.

*95. Umwandlungswärme des Nickels beim Curiepunkt (350° C)*[1].

Die mit der magnetischen Umwandlung des Nickels bei etwa 350° C verbundene Wärmetönung ist, soweit bekannt, erst zweimal bestimmt worden, und zwar zuerst von Werner[2], der nach einer von Tammann angegebenen Methode die Umwandlungswärme zu 0,013 cal/g geschätzt hat, und zweitens von S. Umino[3], der die gleiche Größe aus der Abhängigkeit der spezifischen Wärme von der Temperatur zu 2 cal/g ermittelt hat. Da gegen beide Untersuchungen, ganz besonders aber gegen die von Werner, Bedenken geltend zu machen sind, so wurde in Erweiterung des Programms für Untersuchungen auf dem Gebiete der Metallforschung eine neue Bestimmung dieses Werts in Angriff genommen. Zur Ausführung dieser Arbeit erwies sich der im vorigen Jahre gebaute Nickelofen[4], der zu diesem Zwecke zugleich als Kalorimeter und Reaktionssubstanz dient, als besonders geeignet. Die Untersuchung ist dem Abschlusse nahe.

*96. Herstellung sehr reinen Quecksilbers*[1].

Da in letzter Zeit häufig Anfragen betreffs Herstellung sehr reinen Quecksilbers an die Reichsanstalt gerichtet wurden, wurden die Methoden der Quecksilberreinigung, wie sie seit Jahren hier Verwendung finden, veröffentlicht (Anh., Nr. 64).

*97. Nickelofen für metallkundliche Untersuchungen*[1].

Die Untersuchungen an dem im vorjährigen Tätigkeitsbericht (Nr. 80) beschriebenen Nickelofen, sowie die hiermit gemachten Erfahrungen sind für den Druck in der *Zeitschr. f. Instrkde.* zusammengestellt. (S. *diese Zeitschr.* ***50.*** *S. 194—197. 1930.*)

*98. Untersuchungen der Allotropie der Metalle*[5].

*a) Zink.*

Die Allotropieuntersuchungen sind an den Metallen Zink, Kobalt und Thallium fortgesetzt.

Zink soll nach Ansicht einiger Forscher bei 330° C, anderer wieder bei 170° und 330° C Umwandlungspunkte besitzen, doch sprechen neuere Messungen vielfach gegen diese Behauptung, so daß nunmehr systematische Untersuchungen vorgenommen wurden. Zunächst wurde spektroskopisch reines Zink (mit einem Reingehalt von 99,993%) — als Zn I bezeichnet — verwendet. Sodann wurde dieses mit 1% Cd verunreinigt (Zn II), da gerade Cadmium oft als Verunreinigung im Zink enthalten ist. Endlich wurde Zinkpulver (Kahlbaum) gewählt, das 0,5% Pb und 0,5% Fe als Verunreinigung enthielt (Zn III).

Von diesen drei Zinksorten, die im Vakuum zu Stäben gegossen waren, wurde der elektrische Widerstand zwischen 100 und 400° C gemessen. Aus der graphischen Darstellung (siehe Abb. 3), in der nicht der Widerstand selbst in Abhängigkeit von der Temperatur, sondern eine Funktion $\Delta W$ dargestellt ist, die die Abweichung des gemessenen Widerstandes vom linearen Verlauf wiedergibt, geht hervor, daß Zn I in dem untersuchten Temperaturgebiet einen glatten Kurvenverlauf zeigt und somit keine Umwandlungen durchmacht. Zn II besitzt bei 172° und 341° C und außerdem noch bei etwa 270° Unstetigkeitsstellen. Dies steht mit dem Zustandsschaubild der Zink-Cadmium-Legierungen in vollem Einklang; hier entspricht den beiden Unstetigkeitsstellen (172° und 341°) der Schnitt der Ordinate mit der Löslichkeits- und der Soliduskurve. Da das Material nicht völlig homogen war, macht sich auch der eutektische Punkt bei etwa 270° bemerkbar. Das Zn III besitzt nur bei 313° C eine Unstetigkeitsstelle. Die Beimengungen von Blei und Eisen zu Zink verursachen in den entsprechenden Zustandsschaubildern keine Gleichgewichtslinien unterhalb 300°, so daß hierdurch das Fehlen des ersten Knickpunktes zu erklären ist.

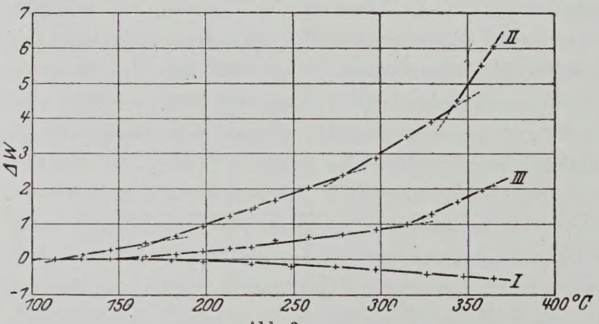


Abb. 3.

Aus diesen Betrachtungen ergibt sich, daß reines Zink keinen Umwandlungspunkt besitzt und daß es lediglich die Beimengungen des Zinks sind, die die Umwandlungen vortäuschen.

---

[1] v. Steinwehr und Schulze.

[2] M. Werner, *Zeitschr. f. anorg. Chem.* ***83.*** *S. 312. 1913.*

[3] S. Umino, *Sc. Rep. of the Tohoku Imp. Univ. I* ***16.*** *No. 5. S. 593. 1927.*

[4] Tätigkeitsbericht der Reichsanstalt für 1928 *S. 25.*

[5] Schulze.

*b) Kobalt.*

Kobalt besitzt zwei Umwandlungspunkte, von denen der erste bei 450° und der zweite ober-ıalb 1100° C liegt. Die erste Umwandlung, die allotrop ist, ist bereits früher untersucht[1]. In dem Ge-ɔiet der zweiten Umwandlung, die durch den Verlust des Ferromagnetismus gekennzeichnet ist, und leren Temperatur an reinem Material bisher noch nicht bekannt war, sind nunmehr Beobachtungen ıngestellt. Diese haben zunächst den Zweck, an reinem Metall die Umwandlungstemperatur festzu-tellen, sodann das elektrische Verhalten zu studieren, das bei der magnetischen Umwandlung ·inen ganz anderen Charakter hat, als bei der allotropen Umwandlung. Messungen des elektrischen Viderstands und der thermoelektrischen Kraft gegen Platin in dem Temperaturgebiet zwischen 800 ınd 1300° C ergaben im Umwandlungspunkte eine plötzliche, sehr scharf hervortretende Richtungs-ınderung in den Eigenschaftskurven — in derselben Weise, wie beim Curie-Punkt des Nickels. Hysteresis-rscheinungen treten hier nicht auf. Der magnetische Umwandlungspunkt des Kobalts liegt hiernach ɔei 1128° C.

*c) Thallium.*

Die Umwandlungstemperatur von Thallium liegt in Übereinstimmung mit älteren Messungen ɔei 228° C. Der elektrische Widerstand ändert sich hierbei — wie bei den anderen allotropen Um-vandlungen — sprungweise; Hysteresiserscheinungen sind vorhanden. Die thermische Ausdehnung vurde nach der dilatometrischen Methode, sowie nach der Rohrmethode untersucht. Beim Übergang on der $\alpha$- in die $\beta$-Phase tritt Kontraktion auf.

*99. Magnetostriktion*[2].

Anschließend an die früheren Untersuchungen verschiedener Eisen-Legierungen, insbesondere ler Eisen-Nickel-Legierungen ist jetzt der Einfluß von Mangan, sowie von Kobalt auf die Magnetostriktion ler Eisen-Nickel-Legierungen bestimmt. (Diese Legierungen sind im magnetischen Laboratorium ıergestellt.) Die Untersuchungen werden fortgesetzt. Ferner ist die Magnetostriktion der Kobalt-Nickel-Legierungen, die bei 800° geglüht waren, nach einer weiteren Glühung bei 1200° C gemessen; wenn ich hierbei auch die Größe der relativen Längenänderungen geändert hat, so bleibt der Charakter ler Striktionskurven (in Abhängigkeit vom äußeren Magnetfeld) derselbe.

*100. Untersuchung der elektrischen Eigenschaften von Metallfolien*[3].

Es ist mit den Untersuchungen an Metallfolien begonnen worden; hierbei handelt es sich zu-ıächst um die Bestimmung des spezifischen Widerstandes von Folien, die durch Kathodenzerstäubung ıergestellt sind.

*101. Internationale Frequenzmessungen*[4].

Die Messungen wurden mit Hilfe eines Piezooszillators (B.S. 200/2) des *Bureau of Standards*, ler durch Herrn Dr. C. B. Jolliffe persönlich zu den einzelnen Laboratorien gebracht wurde, in Amerika, Belgien, Deutschland, England, Frankreich und Italien ausgeführt und ergaben Frequenz-verte, die bis zu $1 \cdot 10^{-4}$ voneinander abwichen. Als Ursache dieser Differenz, die zweifellos die jetzt rreichte Genauigkeit der Frequenzskalen überschreitet, wurde im *Bureau of Standards* eine während les Transports eingetretene Beschädigung an der Montierung der Quarzplatte festgestellt.

Einwandfreie Resultate ergaben Messungen an einem nach Modell der Reichsanstalt gebauten ransversal schwingenden Leuchtresonator von rd. 10000 Hz, der durch Herrn Dr. S. Jimbo (*Electro-echnical Laboratory*, Tokio) persönlich zur Reichsanstalt, zum *National Physical Laboratory* und zum *Bureau of Standards* gebracht wurde. Alle drei Laboratorien maßen innerhalb der Meßgenauigkeit on etwa $\pm 1 \cdot 10^{-5}$ genau den gleichen Wert 9960,7 Hz. Das Ergebnis aus Tokio steht noch aus.

Herr Dr. Jimbo arbeitete einige Zeit als Gast im Hochfrequenzlaboratorium.

*102. Aufstellung einer neuen Frequenzskale für elektrische Schwingungen*[5].

Die Arbeiten zur Aufstellung einer neuen Frequenzskale (vgl. vorigen Tätigkeitsbericht Ziff. 89) vurden fortgesetzt.

*a) Meßverfahren.*

Das früher angegebene Meßverfahren wurde weiter durchgebildet, insbesondere konnten Stö-ungen, die durch den Rundfunk und die gegenseitige Beeinflussung der zu überlagernden Sender ent-tehen, durch Einschaltung von Siebkreisen und Drosseln beseitigt werden. Die erzielbare Meßgenauig-eit in der Frequenz eines Leuchtresonators beträgt etwa $\pm$ 5 Milliontel.

---

[1] Schulze, *Zeitschr. f. techn. Phys.* 8. *S. 365. 1927.*

[2] Schulze.

[3] Schulze (zusammen mit Müller). [4] Scheibe, Preisler.

[5] Giebe, Scheibe, Preisler.

*b) Stimmgabelsender.* Die Frequenz des Stimmgabelsenders wurde in regelmäßigen Zeitabständen mittels Uhr unc Chronographen absolut auf $1-2 \cdot 10^{-6}$ genau bestimmt. Nach Abb. 4 vergrößert sich die Frequen augenblicklich um etwa $1{,}6 \cdot 10^{-6}$ pro Woche. Die Ursache dieser Änderung ist vermutlich in Um lagerungen im Material der Stimmgabel zu suchen, wodurch sich anscheinend auch der Temperatur koeffizient geändert hat, der jetzt wesentlich größer nämlich zu etwa $-3{,}3 \cdot 10^{-6}$ zwischen 7° und 40° als vor einigen Jahren im Institut von Prof. Karo lus gefunden wurde.

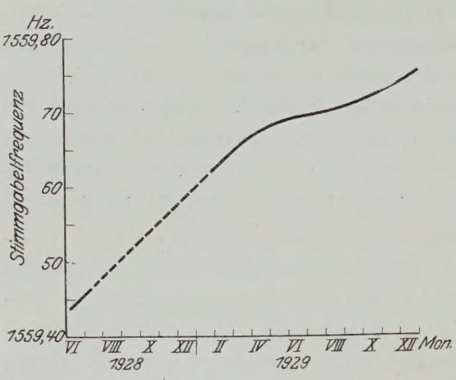



Abb. 4.

*c) Transversal schwingende Quarzresonatoren von* $10^3$ *bis* $2 \cdot 10^4$ Hz. Da eine ausführliche Veröffentlichung über da Verhalten dieser Quarzresonatoren als Frequenznor male in Vorbereitung ist, so sollen im folgenden nu einige wesentliche Ergebnisse mitgeteilt werden.

Stellt man diejenigen Frequenzen des Sender fest, bei denen das Leuchten des mit ihm indukti gekoppelten Resonators gerade einsetzt, wenn mar die Senderfrequenz von höheren oder niederen Werte her auf die Resonatorfrequenz abstimmt, so ergib sich ein gewisses Frequenzintervall, innerhalb desse der Resonator leuchtet. Den relativen Betrag dieses Frequenzintervalls bezeichnen wir als Leucht breite des Resonators, die um so kleiner wird, je loser man den Resonator mit dem erregenden Sende koppelt. Die minimal erreichbare Leuchtbreite, bei der sich das Einsetzen des Leuchtens noch gut beobachten läßt, nennen wir die Empfindlichkeit des Resonators. Diese war für die einzelne Transversalresonatoren etwas verschieden und betrug $4-10 \cdot 10^{-5}$. Dabei lag die zur Anregung de Resonators an seinen Elektroden erforderliche Spannung zwischen 20 und 40 V. Die Abstimmun eines Senders auf die Eigenfrequenz eines Transversalresonators ließ sich unter den angegebenen Um ständen mit einer Genauigkeit von etwa 5 Millionteln ausführen.

Die Transversalresonatoren der Tabelle 1 wurden im Laufe des Jahres mehrfach gemessen Aus den in Tabelle 2 für den 6000 Hz-Resonator zusammengestellten Beobachtungen, die sich übe eine Zeit von 9 Monaten erstrecken, erkennt man, daß der Resonator innerhalb der Meßgenauigkeit

Tabelle 1.

Abmessungen, Frequenzen, Temperaturkoeffizient der Transversalresonatoren.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nennfrequenz Hz | Ordnungszahl $k$ | Abmessungen[1] Dicke $a$ in der Schwingungsrichtung cm | Länge $l$ des Stabes cm | Gemessener Frequenzwert $f_{gem}$ Hz | Berechneter Frequenzwert $f_{ber}$ Hz | $f_{ber} - f_{gem}$ ‰ | Temperaturkoeffizient (0 bis 20°) $10^{-6}$ |
| 1000 | 1 | $0{,}300_1$ | 12,95 | 1000,23 | 1002,5 | + 2,3 | (− 9,3) |
| 2000 | 1 | 0,4 | 10,6 | 1993,35 | — | — | − 7,5 |
| 3000 | 1 | $0{,}399_7$ | 8,62 | 3000,23 | 2991 | − 3,0 | − 7,9 |
| 4000 | 2 | 0,4 | 12,4 | 4006,35 | — | — | − 8,3 |
| 5000 | 2 | $0{,}399_7$ | 11,07 | 4986,60 | 4984 | − 0,5 | − 8,6 |
| 6000 | 2 | $0{,}399_7$ | 10,09 | 5960,30 | 5984 | + 4,0 | − 9,0 |
| 8000 | 2 | $0{,}397_3$ | 8,71 | 7961,69 | 7942 | − 2,5 | − 8,5 |
| 10000 | 2 | $0{,}399_9$ | 7,77 | 10034,6 | 9990 | − 4,5 | − 8,8 |
| 12000 | 2 | 0,4 | 7,1 | 12119,9 | — | — | − 9,3 |
| 14000 | 3 | $0{,}399_8$ | 9,16 | 14042,4 | 14004 | − 2,7 | − 8,6 |
| 16000 | 3 | $0{,}397_7$ | 8,55 | 15963,8 | 15925 | − 2,4 | − 9,4 |
| 20000 | 3 | $0{,}397_4$ | 7,62 | 19890,7 | 19855 | − 1,8 | − 9,3 |

[1] Breite senkrecht zur Schwingungsrichtung beträgt 0,15 cm.

von 5 Millionteln konstant geblieben ist. Gleich gute Resultate haben sich auch für die Konstanz der anderen Resonatoren ergeben.

Die mittleren Temperaturkoeffizienten der Frequenz zwischen $0^0$ und $20^0$ C sind in Spalte 8 der Tabelle 1 angegeben, sie liegen zwischen $-7{,}5 \cdot 10^{-6}$ und $-9{,}4 \cdot 10^{-6}$, und zwar nehmen sie anscheinend mit abnehmender Resonatorlänge und zunehmender Ordnungszahl ein wenig zu.

Nähere Untersuchungen an einzelnen Resonatoren haben gezeigt, daß der Temperaturkoeffizient im Temperaturbereich von $0^0$ bis $40^0$ C mit der Temperatur etwas steigt. Für den 6000 Hz-Resonator z. B. beträgt er $-8 \cdot 10^{-6}$ bei $5^0$ C, $-10 \cdot 10^{-6}$ bei $20^0$ C und $-11 \cdot 10^{-6}$ bei $30^0$ C.

Tabelle 2. Konstanz des 6000 Hz-Resonators.

| Datum 1929 | Frequenzen bei $20^0$ Hz | Abweichungen vom Mittel $f = 5960{,}30$ Hz absolut Hz | relativ $10^{-6}$ |
|---|---|---|---|
| 16. 1. | 5960,26 | − 0,04 | − 7 |
| 11. 3. | ,27 | − 0,03 | − 5 |
| 3. 4. | ,29 | − 0,01 | − 2 |
| 25. 4. | ,33 | + 0,03 | + 5 |
| 16. 5. | ,29 | − 0,01 | − 2 |
| 29. 5. | ,33 | + 0,03 | + 5 |
| 26. 7. | ,31 | + 0,01 | + 2 |
| 14. 10. | ,29 | − 0,01 | − 2 |
| i. M. $f = 5960{,}30$ Hz | | mittlerer Fehler des Mittelwertes | $\pm 2 \cdot 10^{-6}$ |

Berechnet man mit dem Mittelwert, $-8{,}7 \cdot 10^{-6}$, von Spalte 8 Tabelle 1 und mit Hilfe der bekannten thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Bergkristalls den Temperaturkoeffizient des Elastizitätsmoduls ($E = 1/s_{11}$), so ergibt er sich zu etwa $-1{,}3 \cdot 10^{-5}$, was mit den statischen Messungen von Perrier und Mandrot[1] größenordnungsmäßig übereinstimmt.

Zur Berechnung der Abmessungen eines Quarzstabes für eine vorgegebene Frequenz haben wir die Formel ($l$ = Länge, $a$ = Dicke, $m = \left(k + \frac{1}{2}\right)\pi$, $k = 1, 2, 3 \ldots$)

$$f = \frac{m^2 \cdot 10^5}{\sqrt{15{,}87\left(\frac{l^2}{a}\right)^2 + 2{,}945\, l^2 (6m + m^2)}} \text{ Hz}$$

benutzt, die sich aus der früher[2] von uns mitgeteilten Formel

$$\frac{1}{f} m^2 = \sqrt{\alpha + \beta (6\, m + m^2)}$$

durch Einsetzen der numerischen Werte für $\alpha$ und $\beta$ ergibt. Wie aus Spalte 7 der Tabelle 1 zu ersehen ist, gestattet diese Formel die Frequenzen bis auf weniger als 0,5% voraus zu berechnen. Demgegenüber würde die übliche Formel ($d$ = Dichte)

$$f = \frac{1}{2\sqrt{3}} \frac{a}{l^2} \frac{m^2}{2\pi} \sqrt{\frac{E}{d}} \text{ Hz}$$

z. B. bei einer Frequenz von 20000 Hz die Frequenz um 4,5% zu hoch ergeben.

*d) Longitudinal schwingende Quarzresonatoren.*

Messungen der Frequenz der bisher verwandten Leuchtresonatoren für Frequenzen von 100000 Hz an aufwärts haben diese bis auf wenige Hunderttausendstel zeitlich unveränderlich ergeben. Noch höheren Ansprüchen an Konstanz, wie sie jetzt bei Präzisionsnormalen gestellt werden, können diese Resonatoren wohl wegen der einfachen Halterung ihrer Quarzstäbchen zwischen den Anregungselektroden nicht genügen. Deshalb wurde bei longitudinal schwingenden Resonatoren in gleicher Weise wie bei den transversal schwingenden der Quarzstab durch Festbinden in den Schwingungsknoten an einem Metallbügel gehaltert. Messungen solcher Resonatoren zeigten, daß ihre Empfindlichkeit,

[1] Perrier und Mandrot, *Mem. Soc. Vaudoise Science Nat.* **1.** *S. 333—364. 1923.*

[2] *Elektr. Nachrichtentechn.* **5.** *S. 81. 1928.*

die 0,5 bis $1 \cdot 10^{-5}$ beträgt, größer ist als bei den älteren longitudinal schwingenden Leuchtresonatoren und daß diese Resonatoren innerhalb der Meßgenauigkeit von 5 Millionteln konstant sind.

Der Temperaturkoeffizient eines solchen Leuchtresonators von 150000 Hz wurde im Temperaturgebiet von $-20^0$ C bis $+40^0$ C näher untersucht, er ist sehr klein, aber stark von der Temperatur abhängig, s. auch Tabelle 3.

Tabelle 3.
Temperaturkoeffizient des 150000 Hz-Resonators.

| Temperatur $^0$C | Temperaturkoeffizient $10^{-6}$ |
|---|---|
| — 10 | — 1,0 |
| 0 | — 1,8 |
| + 10 | — 2,5 |
| + 20 | — 3,3 |
| + 30 | — 4,3 |
| + 37 | — 5,1 |

Aus dem mittleren Temperaturkoeffizient von $-2{,}4 \cdot 10^{-6}$ zwischen $0^0$ und $20^0$ C und den thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Quarzes berechnet sich der Temperaturkoeffizient des Elastizitätsmoduls ($E = 1/s_{11}$) in Übereinstimmung mit dem an den Transversalresonatoren gewonnenen Ergebnis zu $-1{,}3 \cdot 10^{-5}$.

*103. Normalfrequenzmesser*[1]. Mit Rücksicht auf die in den letzten Jahren stark gestiegenen Anforderungen an die Genauigkeit von Frequenzmessungen wurde ein neuer Normalfrequenzmesser hergestellt, welcher, aus einem Satz von Spulen und Luftkondensatoren bestehend, dem vor mehreren Jahren gebauten im Prinzip gleicht; jedoch wurde großer Wert auf möglichst weitgehende Herabsetzung des Widerstandes der Spulen gelegt, um insbesondere bei niedrigen und mittleren Frequenzen eine schärfere Resonanz und damit eine größere Einstellungsgenauigkeit als mit dem alten Apparat zu erzielen. Die größte Spule hat bei einer Selbstinduktion von 0,1 H einen Widerstand von nur 3,7 Ohm, d. i. fünf- bis zehnmal weniger als die gebräuchlichen Spulen gleicher Selbstinduktion. Die Wicklung besteht aus Litzendraht von $5 \times 19$ Einzeldrähten zu 0,2 mm Durchmesser. Mit dieser Spule im Verein mit den neuen Luftkondensatoren großer Kapazität (Ziff. 104) läßt sich die Messung mittlerer Frequenzen, im Schwingungskreise nach der bei Hochfrequenz üblichen Resonanzmethode, bis herab zu etwa 700 Hz mit einer Genauigkeit von etwa $1 \cdot 10^{-4}$ in einfacher Weise ausführen.

Die genannte Spule ist außerdem sehr vorteilhaft für die häufig auszuführenden Messungen des Wirkwiderstandes von Selbstinduktionsspulen (insbesondere Pupinspulen[2]) zu verwenden.

*104. Kapazitätsnormale*[3]. Für genauere Messungen von kleinen Kapazitäten, z. B. Röhrenkapazitäten sowie für genaue Frequenzmessungen wurden als Ergänzung der Normalkapazitätssätze der Reichsanstalt (vgl. Tätigkeitsber. d. Reichsanstalt für 1919, IIb, 12) unter Verwendung der bisher bei der Konstruktion von Normaldrehkondensatoren gemachten Erfahrungen 2 Drehkondensatortypen von kleinem Variationsbereich der Kapazität konstruiert. Die eine Type (Kapazität ca. 10 bis 30 $\mu\mu$F) ist ein Drehplattenkondensator, der eine, mit dem Gehäuse verbundene bewegliche und eine, durch Quarzglas isolierte, feste Platte hat. Bei der anderen Type (Kapazität ca. 5 bis 50 $\mu\mu$F) wird die Kapazitätsveränderung durch Parallelverschiebung zweier Kreisplatten gegeneinander mit Hilfe einer Mikrometerschraube innerhalb eines mit der beweglichen Platte verbundenen Gehäuses erreicht. (Abgeschirmter Kohlrausch-Kondensator.) Beide Typen lassen sich ohne Verbindungsdrähte mit den bereits vorhandenen Gliedern der erwähnten Kapazitätssätze parallel schalten. Der letztgenannte Apparat ist für sehr feine Einstellungen besonders geeignet, da sich seine Kapazität bei größerem Abstand der Platten nur um etwa 0,001 $\mu\mu$F pro Skalenteil ändert.

Ferner erwies es sich zur Vereinfachung von Verlustmessungen an größeren Kapazitäten (bis zu 10 $\mu$F), die jetzt häufiger auszuführen sind, sowie für Resonanzmessungen bei mittleren Frequenzen als notwendig, den mit den verlustfreien Normalluftkondensatoren der Reichsanstalt darstellbaren Kapazitätsbereich, der bisher bis maximal 0,2 $\mu$F reichte, bis auf 0,5 $\mu$F zu erweitern. Es wurden deshalb durch die Firma O. Selinger, Berlin, 3 Normalluftkondensatoren zu je 0,1 $\mu$F nach den Angaben der Reichsanstalt hergestellt. Die Konstruktion ist im wesentlichen die gleiche, wie bei den früher gebauten Normalluftkondensatoren mittlerer Kapazitätsgröße (vgl. *Zeitschr. f. Instrkde.* **29.** *S. 269, 301. 1909*). Der Durchmesser der 122 Al-Platten von 1,25 mm Stärke beträgt 35 cm, ihr Abstand 1 mm.

[1] Giebe, Blechschmidt.

[2] Vgl. Schering, Tätigkeitsber. d. Reichsanstalt für 1926, *Zeitschr. f. Instrkde.* **47.** *S. 286. 1927.*

[3] Zickner.

Um bei so kleinem Plattenabstand eine ausreichende Konstanz zu erzielen, wurden die Plattensysteme außer an 4 Punkten des Plattenrandes noch in der Mitte durch ein Trägerpaar gehaltert.

Die Außenmaße des Apparates sind: Durchmesser ca. 40 cm, Höhe ca. 50 cm. Das Gewicht beträgt 90 kg. Jeder Kondensator ist auf einem hölzernen, mit Rollen versehenen Bock montiert und läßt sich leicht im Zimmer hin und her bewegen.

Soweit die bisherigen Erfahrungen erkennen lassen, sind die drei Apparate (nach Abklingen anfänglich größerer Schwankungen, die bei frisch zusammengesetzten Kondensatoren stets auftreten) gut konstant. Vom Anfang des dritten bis zum Anfang des sechsten Monats nach der Zusammensetzung betrugen die beobachteten größten relativen Kapazitätsschwankungen um den Mittelwert bei den drei Apparaten i. M. $\pm$ 0,08$^0/_{00}$. Diese Kondensatoren werden für die absolute Messung der Hauptnormale der Induktivität und damit für die in den kommenden Jahren zu wiederholende absolute Ohmbestimmung von großem Nutzen sein.

*105. Messungen an Kondensatoren sehr großer Kapazität (bis zu einigen Tausend μF).*

*a) Scheringbrücke*[1].

Der Eingang einer Reihe von Prüfungsanträgen auf Messung sehr großer Kapazitäten für Niederspannung und ihres Verlustfaktors zeigt, daß zur Zeit in der Technik ein Bedürfnis nach derartigen Messungen vorliegt. Es handelt sich um Kondensatoren zur Phasenverbesserung von Wechselstromnetzen sowie zur Störungsbefreiung in Rundfunkanlagen. Da das bisher übliche wattmetrische Meßverfahren bei kleinen Leistungsfaktoren der zu untersuchenden Kondensatoren Schwierigkeiten bereitet, so wurde versucht, die von Schering angegebene Brückenmethode (Tätigkeitsber. der Reichsanstalt für 1923, *Zeitschr. f. Instrkde.* **44.** *S. 99.* 1924) zur Messung großer Kapazitäten bei hohen Spannungen für die exakte Untersuchung derartiger Kondensatoren zu verwenden. Die Schaltung ist in Abb. 5 dargestellt. Wie bekannt, erfolgt die Messung bei größeren Stromstärken unter Verwendung eines Nebenschlusses $R_n$ (vgl. Abb. 5) zum Zweige $AE$ der Brücke. Bei der Messung sehr großer Kapazitäten wird die Brücke naturgemäß stark ungleicharmig und der Nebenschluß $R_n$ sehr klein. Bei Brückengleichgewicht gelten die Beziehungen

$$C_x = C_N R_4 \frac{r + R_3}{R_n R_3}, \qquad 1)$$

$$\operatorname{tg} \delta = \omega R_4 C_4 - \omega R_4 C_N \left| \frac{r}{R_3} \right. . \qquad 2)$$

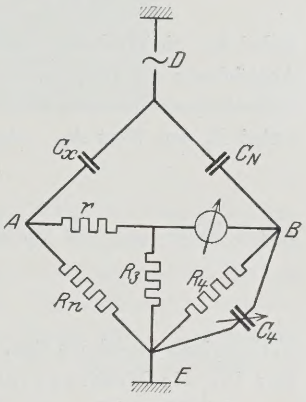


Abb. 5.

Praktisch werden für die Größen $C_N$, $R_4$, $R_n$ und $r$ konstante Werte gewählt, während mit $R_3$ die Kapazitätsabgleichung und mit $C_4$ die Phasenabgleichung ausgeführt wird. Für die Einstellungsmöglichkeit des Brückengleichgewichts und zur Erzielung ausreichender Meßgenauigkeit müssen bezüglich der Größen der einzelnen Kapazitäten und Widerstände bestimmte, sich durch Rechnung ergebende Bedingungen innegehalten werden.

Bei der Messung ist besonders darauf zu achten, daß der Widerstand $R_n$ einschließlich seiner Zuleitungen zu den Brückeneckpunkten eine möglichst geringe Selbstinduktion besitzt. Unter der Annahme einer kleinen Selbstinduktion $l$ im Widerstand $R_n$ der Brücke ergibt die Rechnung für das Brückengleichgewicht, daß Gleichung 1) praktisch unverändert bleibt, während zu Gleichung 2) ein Zusatzglied $\frac{\omega l}{R_n}$ gleicher Größenordnung hinzutritt, das den Verlustwinkel völlig fälschen kann.

Ferner müssen die Verbindungsleitungen der Brückeneckpunkte $A$ und $E$ mit den Spannungsklemmen des Widerstandes $R_n$ möglichst widerstandsfrei sein, da die Kapazität $C_x$ schon durch einen kleinen Zuleitungswiderstand zu $R_n$ merklich beeinflußt wird.

Auf den Verlustwinkel wirken Widerstand und Selbstinduktion der Zuleitungen zu $R_n$, wie die Rechnung zeigt, in entgegengesetztem Sinne; ein überwiegender Einfluß einer dieser Größen war unter den vorliegenden Verhältnissen nicht festzustellen.

---

[1] Zickner, Pfestorf.

*b) Maxwellbrücke*[1]. Um eine Kontrolle für die Richtigkeit der nach obiger Methode ausgeführten Messungen zu haben, wurden diese Messungen nach einer anderen Methode wiederholt. Als zweite Meßanordnung wurde die Maxwellsche Brückenschaltung gewählt (vgl. Abb. 6). Diese Methode hat den Vorzug, daß extrem kleine Widerstandswerte in den Brückenzweigen vermieden werden, wodurch die aus deren Induktivität sowie die aus den Zuleitungswiderständen resultierenden Schwierigkeiten wegfallen.

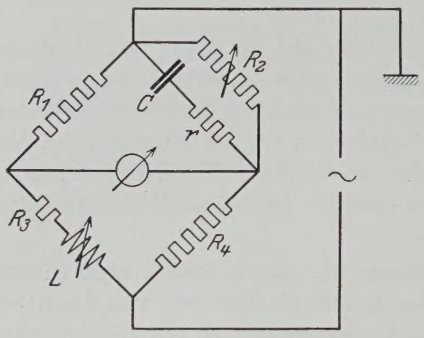


Abb. 6.

Der zu untersuchende Kondensator sei durch eine ideale Kapazität $C$ mit vorgeschaltetem Widerstand $r$ ersetzt gedacht. $L$ ist ein Drehspulvariometer vom Widerstand $R_3$, ferner sind $R_1$ und $R_4$ feste winkelfreie Widerstände. Dem Kondensator ist der ebenfalls winkelfreie Meßwiderstand $R_2$ parallel geschaltet. Die Gleichgewichtsbedingungen für die Anordnung lauten

$$C = \frac{L\,(1 + \mathrm{tg}^2\,\delta)}{R_1\,R_4}\,, \tag{3}$$

$$\omega\,C r = \mathrm{tg}\,\delta = \frac{1}{\omega\,L}\left(R_3 - \frac{R_1\,R_4}{R_{2\sim}}\right), \tag{4}$$

wobei $R_{2\sim}$ die Wechselstromeinstellung des Widerstandes $R_2$ (bei 50 Hz) bedeutet. Schaltet man nach Abgleichung der Brücke den Kondensator ab und ersetzt den Wechselstrom durch Gleichstrom, das Vibrationsgalvanometer durch ein Drehspulinstrument, so gilt bei nun wiederholter Brückenabgleichung, wobei $R_2$ den Wert $R_{2=}$ erhalte:

$$R_3 = \frac{R_1\,R_4}{R_{2=}}\,. \tag{5}$$

Durch Einsetzung von Gl. 5) in Gl. 4) erhält man:

$$\mathrm{tg}\,\delta = \frac{R_1\,R_4}{\omega\,L}\cdot\left(\frac{1}{R_{2=}} - \frac{1}{R_{2\sim}}\right), \tag{6}$$

woraus sich $r$ berechnen läßt. Die Werte von $C$ und $r$ charakterisieren die Eigenschaften des Apparates nur für die Meßfrequenz.

Die Vergleichung der mit diesem Verfahren erhaltenen Ergebnisse mit denen der vorgenannten Methode zeigte für die untersuchten, z. T. in der folgenden Tabelle aufgeführten Apparate innerhalb der bei diesen Kondensatoren möglichen spontanen Schwankungen von einigen Prozent in Kapazität und Verlustwinkel gute Übereinstimmung, so daß nunmehr Prüfungen von Kapazitäten bis zu etwa 10000 $\mu$F in der Reichsanstalt ausgeführt werden können.

Tabelle.

Meßfrequenz 50 Hz.

| Bauart | Kapazität $C$ | Verlustfaktor $\mathrm{tg}\,\delta$ | Phasenverschiebung $\varphi$ | Wirkwiderstand $r$ | Blindwiderstand $1/\omega C$ |
|---|---|---|---|---|---|
| Papierkondensator . . . . . | 440 $\mu$F | $6{,}5\cdot10^{-3}$ | 89° 38′ | $0{,}04_7\ \Omega$ | $7{,}2_4\ \Omega$ |
| Trockenelektrolytkondensator | 6900 $\mu$F | $0{,}9_1$ | 47° 42′ | $0{,}4_2\ \Omega$ | $0{,}4_6\ \Omega$ |
| Trockenelektrolytkondensator | 5700 $\mu$F | $0{,}6_0$ | 59° 2′ | $0{,}3_4\ \Omega$ | $0{,}5_6\ \Omega$ |

Wie aus der Tabelle ersichtlich ist, ist der Verlustwinkel des Papierkondensators (Phasenschieber für Wechselstromnetze) von normaler Größe; dagegen haben die für Netzanschlußgeräte bestimmten Trockenelektrolyt-Kondensatoren so hohe Verluste, daß sie fast als Widerstände bezeichnet werden können.

*106. Registrierung von Kapazitätsänderungen*[2]. Die im Tätigkeitsbericht für 1928, Nr. 91 beschriebene Methode zur Registrierung von Kapazitätsänderungen wurde zur Aufnahme einiger physikalischer Vorgänge angewandt, um ihre Brauch-

---

[1] Zickner. [2] Schulze, Zickner.

barkeit für derartige Untersuchungen darzutun. Hierbei wurde statt des bisher verwendeten Drehspulgalvanometers (Türmcheninstrument) ein Zeissisches Schleifengalvanometer benutzt, welches zum Registrieren von relativ schnell verlaufenden Vorgängen besser geeignet ist, als das oben genannte Instrument, da seine Eigenschwingungsdauer nur etwa 0,1 sec beträgt, während seine Empfindlichkeit bei hängender Schleife etwa die gleiche ist wie die des Türmcheninstruments.

Um die Empfindlichkeit obiger Methode zu demonstrieren, wurde als zu registrierender Vorgang die sehr kleine Längenänderung eines Stabes aus ferromagnetischem Material in einem longitudinalen Magnetfelde (Magnetostriktion) in Abhängigkeit von der Feldstärke gewählt. Die Beschreibung der verwendeten Apparatur ist bereits veröffentlicht[1].

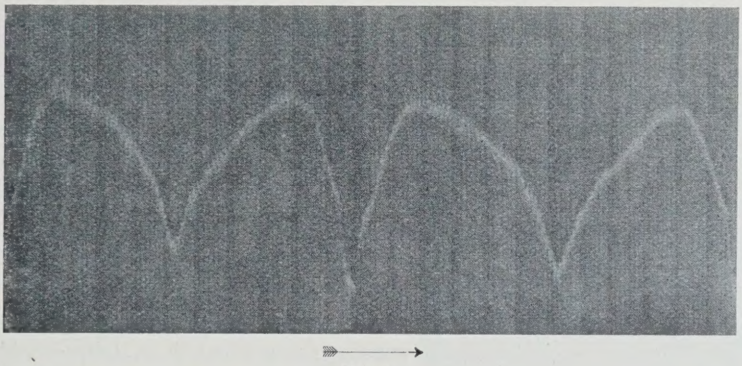


Abb. 7.

Abb. 7 stellt die Magnetostriktion eines Stabes von etwa 200 mm wirksamer Länge und 6 mm Durchmesser aus Elektrolyteisen dar. Dieses zeigt bei schwachen Feldern eine Dilatation, die bis etwa 50 Gauß steil ansteigt, dann wieder langsam fällt und bei etwa 250 Gauß den Anfangswert erreicht (Villarischer Punkt). Bei höheren Feldstärken tritt Kontraktion ein. Im vorliegenden Versuch[2] wurde die Feldstärke bis etwa zum Villarischen Punkt gesteigert, dann wieder bis auf null gesenkt (Mitte der Abbildung); die rechte Seite des Bildes zeigt eine Wiederholung des Vorganges. Die maximale Elongation der Kurve entspricht einer Längenänderung von etwa 1 $\mu$.

Als Beispiel für einen Vorgang, der sich wegen seines relativ schnellen Ablaufs nicht punktweise aufnehmen läßt, wurde die Durchbiegung des Drehstahls einer arbeitenden Bank registriert. Die eine Kondensatorplatte ist am Support, die andere am Drehstahl befestigt.

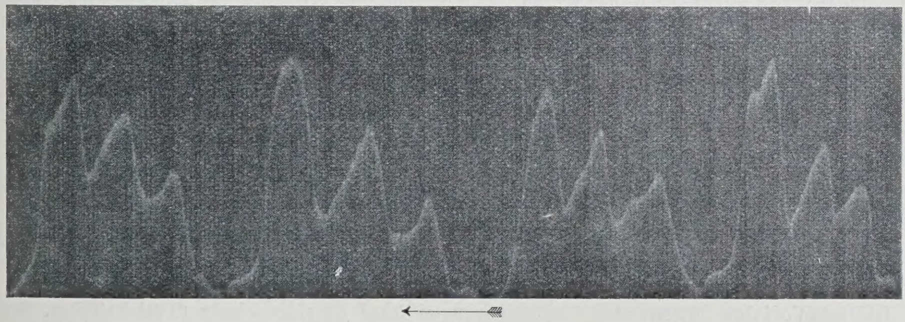


Abb. 8.

Registriert wurde der Arbeitsvorgang beim Abdrehen von Stäben aus verschiedenem Material. Die Stärke des abzuhebenden Spans wurde in drei Stufen verändert, und zwar in Richtung wachsenden Arbeitsdrucks. Abb. 8 zeigt die für Hartgummi erhaltene Registrierkurve. Der Galvanometeraus-

[1] Vgl. Schulze, Tätigkeitsber. für 1926, Nr. 75; *Zeitschr. f. Phys. 50. S. 448. 1928.*

[2] Das Bild ist im Sinne des Pfeiles durchlaufen zu denken.

schlag wächst, dem vergrößerten Vorschub des Stahles (Pfeilrichtung) entsprechend, stufenweise. Die gesamte Arbeitsperiode ist viermal wiederholt. Der mittlere Wert der Plattenabstandsänderung (Durchbiegung) lag in der Größenordnung von einigen Hundertstel Millimetern. Die Kapazitätsänderung betrug einige $\mu\mu$F. Es zeigt sich, daß sich nach der angewandten Methode Rückschlüsse auf die Größe der Durchbiegung des Drehstahles, sowie auf die Eigenschaften des bearbeiteten Materials ziehen lassen.

*107. Vereinfachung der Dosismessereichung*[1]. Die bereits im Tätigkeitsberichte von 1928, Nr. 100 erwähnte Kompensationsmethode zur Messung schwacher Ströme wurde für die Dosismessereichungen in Gebrauch genommen. Durch die neue Einrichtung wird das Meßverfahren wesentlich abgekürzt. Nach dem Kompensationsprinzip gebaute Dosismesser bieten auch für den praktischen Gebrauch Vorteile. Die Firma S. Strauß in Wien hat es daher übernommen, Kompensationsdosismesser von der in der Reichsanstalt ausgearbeiteten Art für die Praxis herzustellen.

*108. Erweiterung der Dosismessereichungen auf weichere Strahlen*[1] Die exakte Röntgendosimetrie wurde bis vor kurzem fast nur für die Zwecke der Röntgentiefentherapie angewandt. Dosismessereichungen wurden daher vorwiegend für harte Strahlen von mehr als etwa 0,3 mm Kupfer Halbwertschicht gefordert. Neuerdings wird aber in der medizinischen Praxis in immer zunehmendem Maße der Wunsch laut, auch für weichere Strahlen, wie sie in der Diagnostik und der Oberflächentherapie verwandt werden, geeichte Dosismesser zu besitzen.

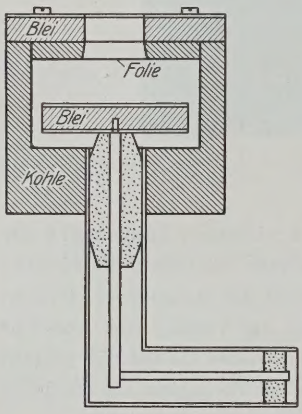



Abb. 9.

Die Einführung der sogenannten Grenzstrahlen (d. i. Röntgenstrahlen, die mit Röhrenspannungen von weniger als 12 kV erzeugt werden) durch Bucky in die medizinische Praxis ließ es ferner notwendig erscheinen, auch diese extrem weichen Strahlen exakt dosimetrieren zu können. Die bisherigen Standardionisierungskammern der Reichsanstalt waren nur anwendbar bis zu Halbwertschichten oberhalb etwa 0,1 mm Kupfer. Für weichere Strahlungen, deren Intensität und Qualität auf dem Luftwege durch die Kammer hindurch bereits merklich verändert wurde, mußten dieserhalb rechnerische Korrekturen an den Messungen angebracht werden, die mit abnehmender Strahlenhärte immer größer und auch immer unsicherer wurden, da die zur Berechnung dieser Korrekturen einzusetzenden Absorptionskoeffizienten der Luft nicht genau bekannt sind. Aus diesem Grunde wurde eine besondere Ionisationskammer entwickelt, welche von der Strahlenqualität unabhängige Eichwerte von den härtesten bis zu den weichsten überhaupt in Frage kommenden Strahlenqualitäten besitzt. Diese Kammer lehnt sich in ihrer Form an eine von Küstner unter der Bezeichnung „Kurzkammer" angegebene, speziell für Grenzstrahlen bestimmte Konstruktion an. Ihr Körper besteht aber nicht wie bei Küstner aus Metall, sondern aus möglichst reiner Kohle. Abb. 9 zeigt die Kammer im Längsschnitt. Das durch ein Bleidiaphragma von 8 mm Dicke begrenzte Strahlenbündel fällt von oben ein und durchsetzt zunächst ein auswechselbares Cellophanfenster von 0,01 bzw. 0,2 mm Dicke. Sodann trifft die Strahlung die isolierte Innenelektrode, die aus einer beiderseits mit fast reiner Kohle bedeckten 8 mm dicken Bleiplatte besteht, welche auch die härtesten in Betracht kommenden Strahlen völlig absorbiert. Das Cellophanfenster von 0,2 mm Dicke wird verwandt für Strahlungen von 0,07 bis 2,0 mm Kupfer Halbwertschicht. In diesem Bereich zeigt die Kammer völlige Unabhängigkeit von der Strahlenqualität. Für Strahlen unter 0,07 mm Kupfer Halbwertschicht wird das Cellophanfenster von 0,01 mm Dicke benutzt. Bei härteren Strahlen ist das dickere Fenster notwendig, um am Rande des Bleidiaphragmas ausgelöste Photoelektronen am Eintritt in die Kammer zu hindern.

*109. Röntgenstrahlenschutz*[2]. Die im Vorjahre begonnenen Untersuchungen über Strahlenschutz (Tätigkeitsber. für 1928, Nr. 97) wurden auf Therapieröhren ausgedehnt. Eine Veröffentlichung darüber erscheint im Februarheft 1930 der *Fortschr. a. d. Geb. der Röntgenstrahlen.* Insbesondere wurde die Schutzwirkung verschiedener Bleidicken für eine Anzahl praktisch interessierender Strahlenqualitäten ermittelt. Abb. 10 zeigt, wie dick man einen Bleischutz zu wählen hat, um eine Strahlung von bestimmter Halbwertschicht auf einen bestimmten Bruchteil zu schwächen. Diese Ergebnisse konnten z. T. bereits bei Beratungen von Strahlenschutzbestimmungen der Normenstelle der Deutschen Röntgengesellschaft Verwendung finden.

---

[1] Behnken, Jaeger. [2] Behnken.

*110. Normalwiderstände für hohe Belastung*[1].

Die im vorigen Berichte erwähnten Normalwiderstände sind in konstruktiver Beziehung noch weiter verbessert worden. Hierdurch war es möglich, die die Wicklungen umschließenden Kupferbacken allseitig miteinander zu verlöten; da außerdem die Drahtdurchführung mit Isoliermasse fest verkittet ist, so sind die Widerstandswicklungen luft- und feuchtigkeitssicher nach außen abgeschlossen. Die Messungen an den Widerständen, die sich naturgemäß über einen längeren Zeitraum erstrecken müssen, sind noch nicht zum Abschluß gebracht. Die endgültige Form der Widerstände ist in der Abb. 11 dargestellt.

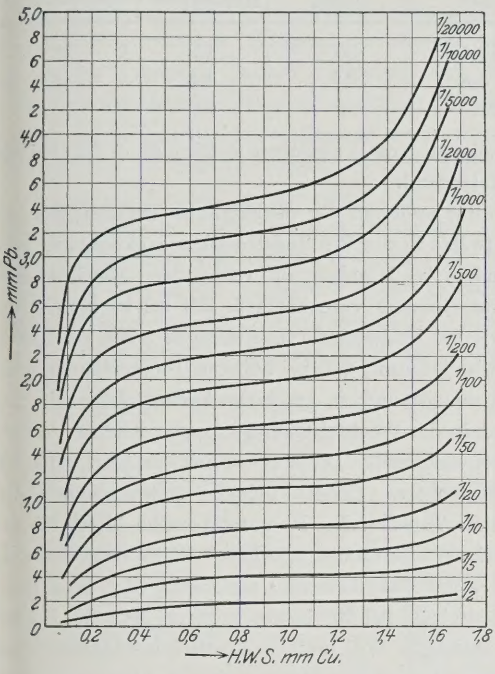



Abb. 10.

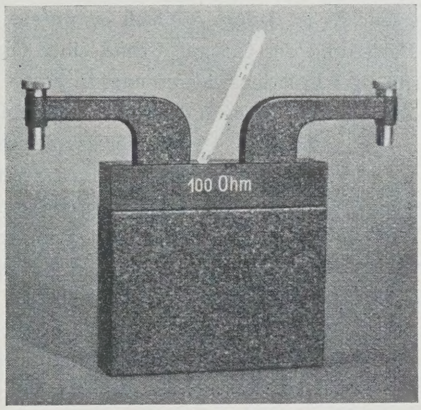



Abb. 11.

*111. Vibrationsgalvanometer*[1].

Die Versuche, ein Vibrationsgalvanometer mit elektro-magnetischer Abstimmbarkeit für einen großen Frequenzbereich zu schaffen, sind fortgesetzt und abgeschlossen worden. Der Aufbau des neuen Galvanometers lehnt sich im wesentlichen der von Schering und Schmidt entwickelten Konstruktion an[2]. Bei diesem lag die obere Grenze der Frequenz bei etwa 160 Per/sec. Das neue Galvanometer umfaßt bei Verwendung zweier Systemeinsätze einen Frequenzbereich von 40 bis 2000 Per/sec. Die Empfindlichkeit bei 1 m Skalenabstand ist bei Frequenz 50 etwa $5 \cdot 10^{-8}$ Ampere für 1 mm Bildverbreiterung, also etwa doppelt so groß wie bei dem alten Instrument, bei Frequenz 500 etwa $7 \cdot 10^{-8}$ Ampere, bei Frequenz 2000 $6 \cdot 10^{-7}$ Ampere. Eine ausführliche Veröffentlichung ist in Vorbereitung.

*112. Versuche zur Vokaltheorie*[3].

Die Versuche über die Vokalqualitäten reiner Töne wurden abgeschlossen; im Anschluß hieran wurde die Abhängigkeit der Beurteilung des Vokalcharakters von der absoluten Tonhöhe der Teiltöne untersucht. Eine vorläufige Mitteilung über die Ergebnisse wurde veröffentlicht (Anh., Nr. 115).

*113. Dielektrizitätskonstante bei Temperaturen bis — 60⁰*[4].

Die Untersuchung über elektrische Eigenschaften von Isolierstoffen bei Temperaturen bis $-60^0$ wurde abgeschlossen und veröffentlicht (Anh., Nr. 65). Außer den in der Arbeit mitgeteilten Messungen der dielektrischen Verluste und der Durchschlagspannungen wurden noch die Dielektrizitätskonstanten ermittelt, die zur Ergänzung der Veröffentlichung hier nachgetragen seien. Die Dielektrizitätskonstanten der untersuchten festen Isolierstoffe, einer Sorte Porzellan, einer Sorte Glas, Quarz, Hartpapier I — elektrisch hochwertig — und

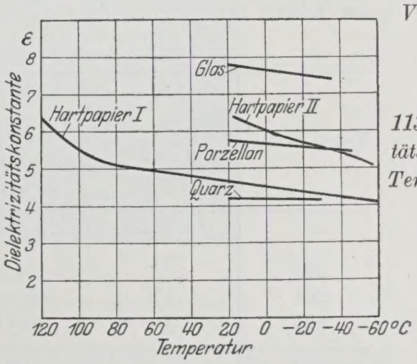



Abb. 12. Dielektrizitätskonstante in Abhängigkeit von der Temperatur.

[1] Schmidt. [2] *Zeitschr. f. Instrkde.* ***38.*** *S. 1. 1918.*
[3] Engelhardt, Gehrcke. [4] R. Vieweg, Pfestorf.

Hartpapier II — handelsüblich — wiesen bei 50 Hz das aus Abb. 12 ersichtliche Verhalten in Abhängigkeit von der Temperatur auf. Die Dicke der Platten, die Meßspannung und die Feldstärke sind in der folgenden Tabelle angegeben.

| | Porzellan | Glas | Quarz | Hartpapier I | Hartpapier II |
|---|---|---|---|---|---|
| Meßspannung $kV_{eff}$ . . . . . | 20 | 12,5 | 30 | 35 | 35 |
| Dicke der Platten mm . . . | 3,8 | 5,8 | 5,2 | 6,6 | 5,0 |
| Feldstärke kV/cm . . . . . | 53 | 22 | 58 | 53 | 70 |

Bemerkenswert ist die Temperatur-Unabhängigkeit von $\varepsilon$ zwischen + 20 und — 30° bei der Quarzplatte, die aus geschmolzenem Quarzkristall bestand.

*114. Untersuchung von Kabelisolierölen mit Gleichspannung*[1].

Zur Bewertung von Kabelisolierölen dient unter anderem der dielektrische Verlustfaktor. Er wird im allgemeinen bei Spannungen von 10 kV aufwärts in der Wechselstrom-Hochspannungsbrücke gemessen. Es ist jedoch vielfach erwünscht, besonders im Hinblick auf vorhandene Einrichtungen die Bewertung der Öle auf Grund einer Gleichstrommessung vorzunehmen. Als solche kommt die Messung des Isolationswiderstandes in Frage, die wie bei Isolierstoffuntersuchungen meist bei 1000 V eine Minute nach Anlegen der Spannung erfolgt. Es ist bekannt, daß bei höheren Temperaturen, etwa 80°, der aus der Gleichstromleitfähigkeit errechnete Verlustfaktor mit dem bei derselben Temperatur in der Wechselstrombrücke gemessenen Verlustfaktor befriedigend übereinstimmt. Diese Übereinstimmung wird bei sinkender Temperatur schlechter. Bereits bei 40° treten größere Abweichungen auf (s. folgende Tabelle). Bei Raumtemperatur bietet die genaue Messung des Isolationswiderstandes überhaupt Schwierigkeiten, da dann der Isolationswert guter Kabelisolieröle außerordentlich hoch liegt. Außerdem ist der Isolationsstrom bei 20° in weit höherem Maße als bei 80° von der Einschaltdauer abhängig. Will man den Isolationswiderstand und insbesondere den zeitlichen Verlauf des Stromes richtig erfassen, so muß man Galvanometer großer Empfindlichkeit und kleiner Trägheit verwenden. Diese Bedingungen erfüllt das statische Röhrenvoltmeter, vgl. diesen Tätigkeitsbericht Nr. 117, in Verbindung mit einem hochohmigen Widerstand (Größenordnung $10^9\ \Omega$), wie er für Meßzwecke in der Röntgentechnik Verwendung findet. Das Voltmeter zeigt fast sofort an und gestattet, bei 1000 V Widerstandswerte von $10^{13}\ \Omega$ noch gut zu messen. Den mit diesem Gerät gemessenen Verlauf der Ladekurve eines Ölkondensators stellt die Abb. 13 dar.

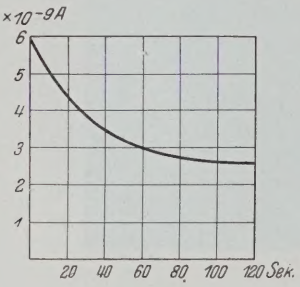



Abb. 13. Ladekurve eines Ölkondensators.

Berechnet man unter Zugrundelegung der von K. W. Wagner in Schering „Die Isolierstoffe der Elektrotechnik“ (Julius Springer, Berlin 1924) angegebenen Theorie aus dem der Ladekurve entnommenen Anfangswert der Leitfähigkeit für Gleichstrom den Verlustfaktor, so ergibt sich auch bei 20° eine gute Übereinstimmung mit der Wechselstrommessung. Einige Werte sind in der folgenden Tabelle angegeben. Die Versuche werden fortgeführt.

Tabelle.

| Temperatur | Öl I | | | Öl II | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | tg $\delta$ gemessen | $\lambda$ gemessen $\Omega^{-1}\ cm^{-1}$ | $\frac{tg\ \delta\ ber.}{tg\ \delta\ gem.}$ [2] | tg $\delta$ gemessen | $\lambda$ gemessen $\Omega^{-1}\ cm^{-1}$ | $\frac{tg\ \delta\ ber.}{tg\ \delta\ gem.}$ [2] |
| | $\times 10^{-3}$ | $\times 10^{-12}$ | | $\times 10^{-3}$ | $\times 10^{-12}$ | |
| 80° | 28,7 | 1,4 | 0,81 | 43,0 | 1,8 | 0,68 |
| 40° | 1,4 | 0,068 | 0,79 | 5,9 | 0,12 | 0,31 |
| 20° | 0,4 | 0,011 | 0,43 | 0,2 | 0,0028 | 0,21 |
| 20° | 0,4 | 0,024 [3] | 0,91 [3] | 0,2 | 0,012 [3] | 0,95 [3] |

[1] Linckh, Pfestorf.

[2] Verhältnis des aus Gleichspannungsmessungen berechneten zu dem mit Wechselspannung gemessenen Verlustfaktor. [3] Unter Zugrundelegung des Anfangswertes der Leitfähigkeit.

*115. Preß-Bernstein als Isoliermaterial*[1].

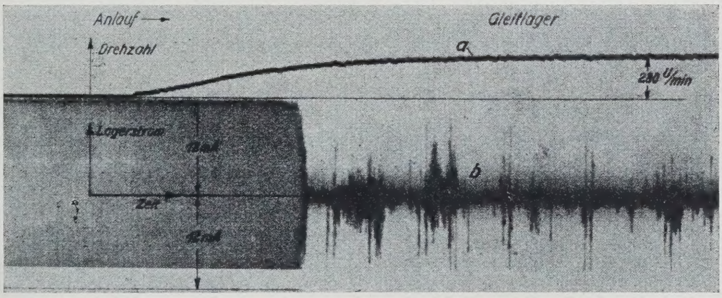
Die im Tätigkeitsbericht für 1928, Nr. 92 erwähnten Untersuchungen von Preßbernstein wurden fortgeführt. An Platten von etwa 3 mm Dicke wurde der dielektrische Verlustfaktor bei 50 Hz in Abhängigkeit von der Spannung und der Temperatur ermittelt. Die Platten wurden auf beiden Seiten durch Aufspritzen mit kreisförmigen festhaftenden Metallbelegungen versehen, von denen die eine als Schutzringelektrode ausgebildet war. Für die Messungen war die Schutzringelektrode mit einem geerdeten Metallgehäuse versehen. Während der Messungen befanden sich die Platten unter Öl. Das Ergebnis ist in der folgenden Tabelle enthalten. An besonderen Probekörpern aus Preßbernstein wurde ferner die Durchschlagspannung ermittelt. Die Probekörper, ebene Platten von etwa 50 mm Durchmesser und 10 mm Dicke, besaßen auf beiden Seiten in der Mitte kugelige Ausschliffe von etwa 20 mm Durchmesser, so daß die dünnste Stelle der Platte etwa 0,8 mm betrug. Die kugeligen Ausschliffe wurden durch Aufspritzen mit einem festhaftenden Zinkbelag versehen und mit den Klemmen eines einpolig geerdeten Transformators verbunden. Die praktisch sinusförmige Wechselspannung wurde stoßfrei allmählich um etwa 1 kV je Sekunde, bis zum Durchschlag gesteigert. Die Ergebnisse der Messungen sind in der folgenden Tabelle enthalten. Platten sowie Formkörper wurden in liebenswürdiger Weise von der Preuß. Bergwerks- und Hütten A. G., Zweigniederlassung Bernsteinwerke Königsberg i. Pr. zur Verfügung gestellt.

Tabelle. Dielektrischer Verlustfaktor, Dielektrizitätskonstante und Durchschlagspannung von Preßbernstein bei 50 Hz.

| Spannung kV | bei 20° | | bei 40° | | bei 60° | | bei 90° | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | tg $\delta$ | $\varepsilon$ | tg $\delta$ | $\varepsilon$ | tg $\delta$ | $\varepsilon$ | tg $\delta$ | $\varepsilon$ |
| 20 | $0{,}8 \cdot 10^{-3}$ | | $0{,}8 \cdot 10^{-3}$ | | $0{,}8 \cdot 10^{-3}$ | | $1{,}0 \cdot 10^{-3}$ | |
| 30 | 0,8 „ | 2,8 | 0,8 „ | 2,8 | 0,8 „ | 2,8 | 1,0 „ | 2,9 |
| 40 | 0,8 „ | | 0,8 „ | | 0,8 „ | | 1,0 „ | |

| | Durchschlagspannung in $kV_{eff}$ | |
|---|---|---|
| Dünnste Stelle der Platten im Mittel mm | Mittelwert aus 3 Durchschlägen | kleinster gemessener Wert |
| $0{,}7_6$ | 59 | 52 |

Die Messungen zeigen, daß der Verlustfaktor der untersuchten Platten aus Preßbernstein klein und in dem für die praktische Verwendung in Betracht kommenden Bereich temperaturunabhängig




| Verschleiß | ← Grenzschmierung →

Abb. 14. Drehzahl (*a*) und Lagerstrom (*b*) beim langsamen Anlauf eines Gleitlagers.

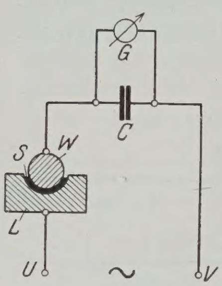
ist, und daß ferner in der Durchschlagspannung von Preßbernstein recht hohe Werte erreicht werden können.

[1] Pfestorf.

*116. Öl- und Lagerversuche*[1].

Beim Schmiervorgang unterschied man bisher zwischen Teilschmierung und Vollschmierung. Auf Grund der Arbeiten in der Reichsanstalt, insbesondere über die Messungen des Verschleißes eines Lagers (s. Tätigkeitsbericht 1928, S. 42) kann man im Gebiet der Teilschmierung weiter zwischen Verschleiß und Grenzschmierung unterscheiden. Abb. 14 zeigt das Einsetzen der Grenzschmierung bei einer bestimmten Drehzahl. Im Gebiet der Teilschmierung bzw. der Grenzschmierung kommen außer der Zähigkeit noch andere Eigenschaften des Öles und der Lagermetalle zur Wirkung. Die Zähigkeit als Materialkonstante eines Öles reicht allein nicht aus, um die Reibungsverhältnisse im Lager zu klären. Die Auffassung von Langmuir über die Orientierung von Flüssigkeitsmolekülen an festen Grenzflächen ist für die Beurteilung des Schmiervorganges von großer Bedeutung. Die Molekularkräfte im Schmiermittel und die Molekularkräfte zwischen Lagermetall und Schmiermittel bedingen die Schmierfähigkeit. Es wurde ein neues Verfahren zur Messung der Schmierfähigkeit mit Hilfe des Orientierungseffektes gefunden.

In der Grenzschmierung macht sich der durch die Orientierung bedingte anisotrope Charakter der Ölgrenzschichten in einer unipolaren Leitfähigkeit bemerkbar, d. h. in der Abhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit von der Stromrichtung. Der Orientierungseffekt wird durch die Gleichrichterwirkung beim Durchgang eines elektrischen Wechselstromes durch das Lager gemessen. In Abb. 15 ist eine grundsätzliche Schaltung zur Messung des Orientierungseffektes schematisch dargestellt. In einem Wechselstromkreis wirkt das Lager als Ventil und richtet einen Teil des Wechselstromes gleich. Diese Ventilwirkung des Lagers konnte auch durch Gleichstrommessungen nachgewiesen werden. Vorversuche über den elektrischen Orientierungseffekt an einem Ringschmierlager bei verschiedenen Ölen und verschiedener Belastung wurden bereits veröffentlicht (vgl. Anh., Nr. 66).

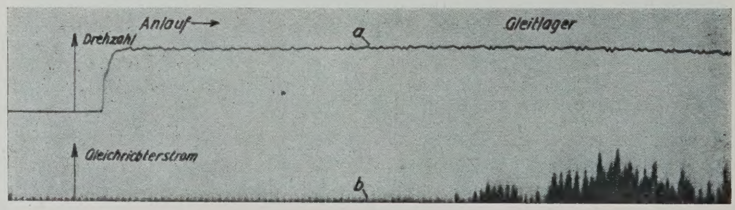


Ab. 15.
b

Die Vorversuche am Gleitlager und Kugellager haben ergeben, daß der elektrische Orientierungseffekt und seine Messung mittels der Gleichrichterwirkung geeignet ist, die Vorgänge der Lagerschmierung zu klären. Mit dem angegebenen Verfahren konnte der Einfluß des Schmiermittels und der Lagermetalle auf die Lagerschmierung festgestellt werden. Beispielsweise wurde die Grenzschmierung an einem großen Ringschmierlager mit besonders kleiner Lagerluft untersucht. Abb. 16 zeigt den oszillographisch aufgenommenen Gleichrichterstrom beim raschen Anlauf dieses Gleitlagers. Man erkennt, daß sich die orientierten Grenzschichten erst nach etwa 10 Umdrehungen ausbilden. Die Bildung der orientierten Grenzschichten geht in einer endlichen Zeit vor sich, die abhängig ist von der den Grenzschichten zugeführten Ölmenge und von dem Orientierungsvermögen des Öles. Die Versuche zur Messung der Schmierfähigkeit werden fortgesetzt. Insbesondere soll der Einfluß der Lagermetalle untersucht werden.

*117. Messung des Anlaufvorganges von Motoren aus der Beschleunigung*[2].

Zur Messung rasch veränderlicher Drucke, wie z. B. der Deformationsspannungen bei dynamischer Beanspruchung von Konstruktionsteilen, der Massenkräfte bei Beschleunigungsvorgängen, der




| ← Verschleiß → | Grenzschmierung

Abb. 16. Drehzahl (*a*) und Lagerstrom (*b*) beim schnellen Anlauf eines Gleitlagers.

Schnittdrucke bei Werkzeugmaschinen usw. sind verschiedene Verfahren bekannt, die jedoch nicht unerhebliche Nachteile besitzen. Um diese Nachteile zu beseitigen, wurde ein neues Verfahren ent-

---

[1] V. Vieweg, Kluge. [2] Linckh, Kluge.

wickelt, bei dem der zu messende Druck auf einen piezoelektrischen Quarz übertragen wird. Auf dem Quarz entstehen dem Druck verhältnisgleiche Ladungen. Diese Ladungen werden einem elektrostatischen Röhrenvoltmeter zugeführt und dort in Stromänderungen umgesetzt, die ein Oszillograph aufzeichnet. In Abb. 17 ist die Schaltung des Röhrenvoltmeters wiedergegeben. Die von dem Quarz $Q$ erzeugten elektrischen Ladungen bringen das Steuergitter der Eingangsröhre auf das Potential $e$ und steuern damit den Anodenstrom. Um einen Ladungsverlust des Steuergitters zu vermeiden, wird eine Spezialdoppelgitterröhre verwendet, deren Steuergitter eine besondere Bernsteindurchführung besitzt und deren Gitterstrom durch niedrige Anodenspannung und geringe Heizung sehr klein gehalten ist. Eine zweite, indirekt geheizte Röhre in Widerstandsverstärkerschaltung vergrößert die Anodenstromänderungen der Eingangsröhre, die die Größenordnung $10^{-6}$ A haben, auf einige mA. Die größte, mit dem Gerät erreichbare Empfindlichkeit beträgt etwa 2 mA/kg bei einer Kapazität von etwa 18 $\mu\mu$F. Durch Zuschalten eines mit Bernstein isolierten Drehkondensator $C$ kann der Meßbereich bequem bis auf 100 kg erweitert werden. Um elektrostatische Beeinflussungen von außen zu vermeiden, sind die Röhren in einen geerdeten Blechkasten, der Quarz in eine Druckkammer aus Stahl eingebaut. Untersuchungsergebnisse, die sich außer auf die registrierende Messung der Anlaufbeschleunigung von Motoren auch auf die Messung des Schnittdruckes an einer Leitspindelbank und der Stoßbeanspruchung eines Stahldrahtes erstreckten, sind bereits veröffentlicht (vgl. Anh., Nr. 58). Weitere Versuche sind im Gange.

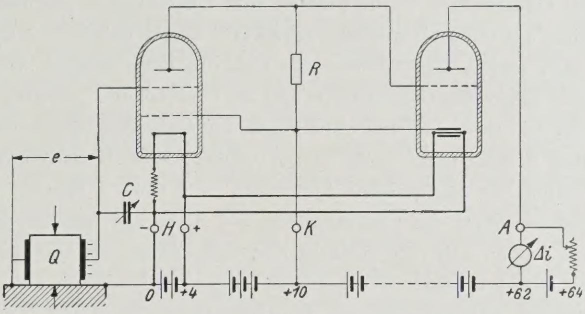


Abb. 17.

*118. Registrierende Messung von Gasdrucken*[1].

Das oben beschriebene piezoelektrische Meßverfahren wurde zur Messung und Registrierung des Gasdruckes bei rasch laufenden Verbrennungsmaschinen weiter entwickelt. Hierbei wurde der Quarz nicht wie bisher in Form eines rechteckigen, in Richtung der neutralen Achse von beiden Seiten gedrückten Prismas verwendet, sondern als flacher Quarzzylinder von 35 mm Durchmesser und 10 mm Dicke mit der elektrischen Achse als Zylinderachse. Dieser Quarzzylinder wurde in eine metallene Mutter derart eingepaßt, daß er sich unter der Einwirkung eines auf der einen Seite herrschenden Druckes nach Art einer Membran deformierte. Auf der anderen Seite war eine mit Bernstein isolierte

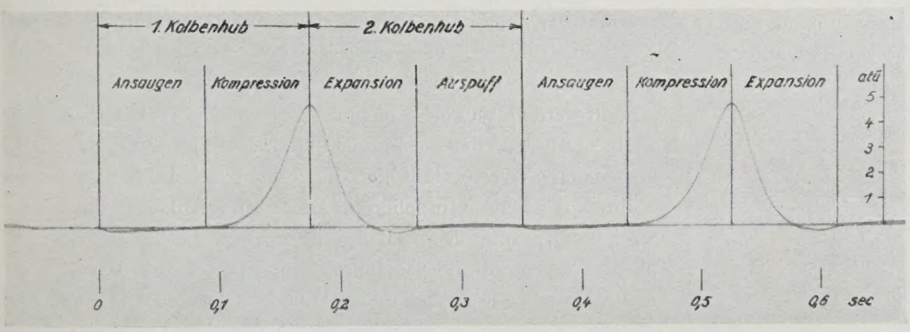


Abb. 18. Druckverlauf im Zylinder eines Viertaktverbrennungsmotors bei Fremdantrieb.

Elektrode angebracht, die mit dem Röhrenvoltmeter verbunden war. Diese Mutter wurde an Stelle der Verschlußmutter in die Zylinderwand des zu untersuchenden Motors eingeschraubt. Abb. 18 zeigt einen mit einer solchen Anordnung aufgenommenen Druckverlauf im Zylinder eines Viertaktverbrennungsmotors, dessen Welle durch einen Elektromotor angetrieben wurde. Der bei der Expansion entstehende kleine Unterdruck ist auf die Undichtigkeit des Zylinders zurückzuführen. Die mit der

[1] Linckh, Kluge.

Anordnung erreichbare Empfindlichkeit ist für alle technischen Zwecke ausreichend und beträgt bis zu 10 mA/at Überdr. Versuche zur Aufnahme des Druckverlaufes beim Verbrennungsvorgang sind im Gange. Das Ziel der Versuche ist die Aufnahme eines Indikatordiagrammes.

*119. Elektromagnetisch angetriebene Stimmgabel für stroboskopische Meßzwecke*[1].

Bei stroboskopischen Messungen wurde bisher die Glimmlampe von einem großen, gleichförmig laufenden Wechselstromgenerator gespeist. Die Frequenz wurde durch Vergleich mit einer Bronzestimmgabel von 50 Hz eingestellt. Die hierdurch gegebene Meßgenauigkeit von 1‰ genügt nicht mehr für die Prüfung der Drehzahlmesser. Bei der neuen Stimmgabelanordnung wurde eine elektromagnetisch angetriebene Stimmgabel mit einem fein einstellbaren Quecksilberkontakt verwendet. Die Glimmlampe wurde parallel zum Unterbrecher geschaltet, wodurch erreicht wird, daß die Lichtblitze der Glimmlampe eine sehr kurze Dauer haben, was bei den stroboskopischen Messungen scharfe Bilder ergibt. Die Messung der Gabelfrequenz erfolgte stroboskopisch mittels der durch die Stimmgabel gespeisten Glimmlampe und des Giebeschen Tourenreglers, dessen Drehzahl auf $\pm$ 0,0001 bekannt war. Die zeitlichen Schwankungen der Gabelfrequenz betrugen während einer Beobachtungszeit von einer Stunde nicht mehr als $\pm$ 0,00001. Eine Kontrollmessung der Gabelfrequenz, die bei gleicher Temperatur und gleicher Amplitude nach etwa 5 Wochen ausgeführt wurde, ergab einen um 0,0005 größeren Wert der Frequenz, was auf Alterungsvorgänge des Gabelmaterials zurückzuführen ist. Um von Zeit zu Zeit eine einfache Kontrollmessung der Gabelfrequenz zu ermöglichen, soll durch die von der Gabel erzeugte Wechselspannung ein phonisches Rad angetrieben werden. Da sich die Gabelfrequenz während mehrerer Stunden sehr wenig ändert, kann sie in einfacher Weise durch Auszählen eines an das phonische Rad angeschlossenen Zählwerkes mit einem Fehler von höchstens $\pm$ 0,0001 bestimmt werden. Weiterhin wurde eine selbstanlaufende Röhrenstimmgabel für 50 Hz gebaut, die bei ortsfester Aufstellung in einem Raum mit möglichst konstanter Temperatur als Normalgabel dienen soll. Die Messung der Gabelfrequenzen erfolgt stroboskopisch mittels einer von der Normalgabel betriebenen Glimmlampe. Genaue Untersuchungen über die Abhängigkeit der Gabelfrequenz von der Schwingungsamplitude, von der Temperatur und von der Art der Einspannung sollen noch ausgeführt werden.

*120. Verbesserung der magnetischen Meßeinrichtung*[2].

*a) Methode zur Messung der Anfangspermeabilität von Blechen*[3].

Einem Bedürfnis der Dynamo- und Transformatorenblech herstellenden Eisenwerke entsprechend wurde eine Brücken- (Differential-) Methode zur bequemen Messung der Anfangspermeabilität von Blechproben ausgearbeitet. Die Messung geschieht in zwei hintereinander geschalteten Spulen, deren eine die Normalprobe mit bekannter Anfangspermeabilität, deren andere die zu messende Blechprobe enthält. An den Primärkreis wird über Vorschaltwiderstände eine Wechselspannung von 40 V und 25 Hz gelegt. Die Vorschaltwiderstände sind so bemessen, daß die magnetisierenden (ungescherten) Feldstärken in den Primärspulen etwa 0,01 bis 0,05 Gauß betragen. Die beiden Sekundärwicklungen und zwei regelbare Widerstände sind zu einer Brückenanordnung (s. Abb. 19) mit Vibrationsgalvanometer als Nullinstrument zusammengeschaltet. Bei geeigneter Wahl der Windungszahl der Sekundärspulen können die Widerstände so eingestellt werden, daß sie zahlenmäßig gleich dem Wert der ungescherten Permeabilität $\mu'$ der Blechproben sind. Nach Messung von etwa 3 ansteigenden $\mu'$-Werten läßt sich die gesuchte scheinbare Anfangspermeabilität $\mu'_0$ leicht extrapolieren. Die wahre Anfangspermeabilität $\mu_0$ wird dann graphisch aus Kurven ermittelt, welche aus dem ein für allemal bestimmten Entmagnetisierungsfaktor der Blechproben berechnet sind. Als Proben dienen 1,00 kg schwere Bündel von Epsteinstreifen, die noch ein verhältnismäßig günstiges Dimensionsverhältnis haben. Wegen der nicht ganz gleichen Verluste in Normal- und Meßprobe mußte von einem Schaltkunstgriff (s. Schleifdraht $a$ in der Abb. 19) Gebrauch gemacht werden, um das Galvanometer völlig auf Null zu bringen. Eliminiert man durch Umtausch von Probe und Normal die Ungleichheiten der Apparatur, so läßt sich mit der beschriebenen Methode eine Meßgenauigkeit von etwa 1% erreichen. Vom Laboratorium wurde ein Probeapparat hergestellt, welcher zufriedenstellende Ergebnisse liefert.

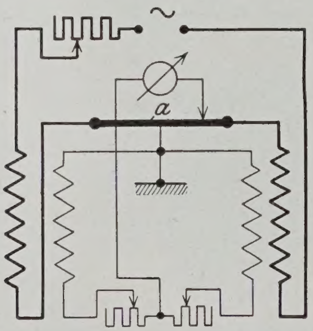


Abb. 19.

[1] Kluge. [2] Steinhaus, Kußmann. [3] Steinhaus, E. Schoen.

*121. Prüfung der Maxwellschen Grundgleichungen bei ferromagnetischen Körpern*[1].

Die Arbeiten konnten fast während des ganzen Jahres wegen der starken Inanspruchnahme des kompensierten Magnetometers für andere Untersuchungen nur wenig gefördert werden, die Versuche wurden erst in den letzten Wochen wieder aufgenommen.

*122. Einfluß der chemischen Zusammensetzung und thermischen Behandlung auf die Magnetisierbarkeit ferromagnetischer Metalle und Legierungen.*

*a) Allgemeines.*

Als wissenschaftliche Gäste arbeiten vorübergehend die Herren Prof. Dr. S. Kaya vom *Research Institut of Iron, Steel and other Metalls* in Sendai (Japan) und Oberingenieur W. Messkin vom Institut für Metallforschung in Leningrad. — Die Einrichtungen des Laboratoriums wurden durch den Aufbau mehrerer Anordnungen, so zur Bestimmung des spez. elektrischen Widerstandes bei höheren Temperaturen und zur Messung des magnetischen Sättigungswertes bei tiefen Temperaturen erweitert.

*b) Materialien mit hoher Anfangspermeabilität*[2].

Die Untersuchungen an den reversiblen Nickel-Eisen-Legierungen wurden fortgesetzt. Es gelang, die im vorigen Tätigkeitsbericht angedeuteten Anschauungen über die Abhängigkeit der Koerzitivkraft vom Aufbau der Legierungen in gewissem Umfang auf die Anfangspermeabilität zu erweitern und damit auch hinsichtlich der besonderen Eigenschaften der Legierung Permalloy eine Klärung herbeizuführen. Hiernach ist eine hohe Anfangspermeabilität eine allgemeine, allen ferromagnetischen Stoffen gemeinsame Eigenschaft, die sich aber nur bei völliger Homogenität und Spannungsfreiheit zeigt. Bei sehr reinen Nickel-Eisen-Legierungen ist dieser Zustand in Annäherung nur bei rascher Abkühlung von hohen Temperaturen zu erreichen, weil nur dann gewisse kleinste Verunreinigungen in fester Lösung bleiben, während sie bei langsamer Abkühlung sich nach Durchschreiten der Löslichkeitsgrenze wieder ausscheiden, womit eine Erhöhung der Koerzitivkraft und eine Erniedrigung der Anfangspermeabilität verbunden ist. Die Natur dieser Verunreinigung konnte direkt noch nicht ermittelt werden. Es gelang jedoch durch Anlaßversuche an rasch abgekühlten Legierungen die bei etwa 450° liegende Löslichkeitsgrenze festzustellen. Ferner konnte durch willkürlich zugesetzte Verunreinigungen, beispielsweise Silber, der Effekt, d. h. der Unterschied in der Koerzitivkraft und Anfangspermeabilität zwischen rascher und langsamer Abkühlung, verstärkt werden.

*c) Untersuchungen über die Abhängigkeit der Permeabilität von der Feldstärke*[2].

Die letzterwähnte Tatsache gestattet ein neues Verfahren, die Koerzitivkraft und damit die Abhängigkeit der Permeabilität von der Feldstärke bei hochpermeablen Stoffen in bequemer Weise zu beeinflussen. Eine Veröffentlichung dieser Versuche befindet sich im Druck.

*d) Untersuchungen über Eisen-Kobalt- und Nickel-Kobalt-Legierungen*[3].

Je eine Serie von Fe-Co- und Ni-Co-Legierungen, die von Herrn Dr. A. Schulze freundlicherweise zur Verfügung gestellt waren, wurden zur Klärung des Zusammenhanges der magnetischen Eigenschaften mit dem Zustandsdiagramm einer Messung unterzogen. Eine Veröffentlichung ist in Vorbereitung.

*e) Untersuchungen über Nickel-Silizium-Legierungen*[4].

Bei einer Untersuchung über magnetisierbare Ni-Si-Legierungen wurde bisher festgestellt, daß entgegen den früheren Angaben von Guertler und Tammann der Curiepunkt im Mischkristallgebiet nicht ansteigt, sondern wie in allen bisher bekannten Legierungsreihen zwischen einem ferromagnetischen und einem unmagnetischen Stoff ebenfalls abfällt.

*f) Untersuchungen über Nickel-Mangan-Legierungen*[5].

Die Anomalien, die bei den magnetischen Eigenschaften der Ni-Mn-Legierungen auftreten, haben besonders umfangreiche Untersuchungen veranlaßt. Zunächst konnte festgestellt werden, daß diese Legierungen entgegen den bisherigen Anschauungen keine lückenlose Mischkristallreihe bilden, sondern ein sehr kompliziertes Zustandsdiagramm aufweisen. Als erstes hat sich die merkwürdige Tatsache ergeben, daß der Sättigungswert bei geringen Mangan-Konzentrationen mit zunehmendem Mangangehalt ansteigt, während der Curiepunkt gleichmäßig absinkt, so daß die Legierungen mit etwa 10% Mn bei Zimmertemperatur einen um 10% höheren Sättigungswert besitzen als das reine Nickel. (Bei der Temperatur der flüssigen Luft beträgt der Unterschied sogar 20%.) Oberhalb von etwa 10% Mn tritt in dem Temperaturintervall 400 bis 600° eine Umwandlungserscheinung auf, die sich dadurch kennzeichnet, daß die Legierungen, die beim Abkühlen langsam durch das Intervall geführt sind, eine beträchtlich höhere Magnetisierbarkeit besitzen als diejenigen, die durch Abschrecken von hohen Temperaturen die Umwandlung übersprungen haben. Da weder Schliffbilder noch Änderungen der Koerzitivkraft auf eine Heterogenität hindeuten, so liegt es nahe, eine Analogie mit den in letzter Zeit an verschiedenen metallischen festen Lösungen nachgewiesenen, einphasigen Umwand-

---

[1] Steinhaus, Kußmann, E. Schoen. [2] Steinhaus, Kußmann, Scharnow.
[3] Kußmann, Scharnow. [4] Kußmann, Scharnow.
[5] Steinhaus, Kaya, Kußmann, Scharnow.

lungen zu vermuten, die einmal durch eine statistische, das andere Mal durch eine regelmäßige Verteilung der beiden Atomarten im Raumgitter gekennzeichnet sind.

*123. Rostfestigkeit und magnetische Eigenschaften*[1]. Eine Untersuchung über den Einfluß von Zusätzen auf die Rostfestigkeit und die magnetischen Eigenschaften von Silizium-Eisen wurde neu in Angriff genommen.

*124. Betrieb B*[2]. Im Berichtsjahre wurde die Erweiterung der Verteileranlage im Starkstromgebäude fertiggestellt. Es wurde ein neues Hochspannungsgleichstromaggregat für 2 × 2500 V und 0,6 A aufgestellt und mit dem Umbau und der Erweiterung der Hochspannungsschaltanlagen für Maschinen und Batterien begonnen. Zur Regulierung der verschiedenen Netzspannungen wird zur Zeit ein Schubtransformator von 100 kVA Durchgangsleistung mit automatischer Steuerung aufgestellt. Durch die Zunahme der Zahl und der Größe der Prüfungsgegenstände und wegen des Platzbedarfes für das Maschinenlaboratorium und den Betrieb ist die Verlegung der bisher behelfsmäßig im Maschinensaal des Starkstromgebäudes untergebrachten Packerei notwendig geworden. Damit die vorhandene Krananlage verwendet werden kann, soll die Annahme und Packerei gegenüber der Einfahrt des Starkstromgebäudes untergebracht werden. Mit dem Neubau des Packhauses wurde begonnen. Die Erneuerung des Experimentiernetzes und die Umstellung des Lichtnetzes von 110 V Gleichspannung auf 220 V Wechselspannung wurden weiter durchgeführt.

In der Werkstatt des Starkstromgebäudes konnte an größeren Arbeiten nur der Bau eines Hochfrequenzsenders ausgeführt werden, da die Arbeitskräfte in stärkerem Maße für die Arbeiten des Betriebes insbesondere bei der Herstellung der Schalttafeln herangezogen werden mußten.

(Fortsetzung folgt.)

---

# Zur Wellentheorie und Beugungstheorie optischer Systeme.

Von

**Johannes Picht** in Potsdam-Neubabelsberg.

Die nachfolgende Mitteilung ist die Wiedergabe eines am 27. November 1929 im Institut für angewandte Optik (Leiter: Prof. Dr. F. Jentzsch) der Universität Jena gehaltenen Gastvortrages, in dem ich zusammenfassend über meine bisherigen Untersuchungen[3] zur Wellenoptik berichtet habe.

Das Gemeinschaftliche dieser Arbeiten ist, daß sie die in praktischen Fällen stets vorhandene endliche Öffnung der Strahlenbündel, genauer: die durch diese endliche Öffnung bedingten Beugungserscheinungen mathematisch streng berücksichtigen. Die erste der genannten Arbeiten, in der die später stets wieder benutzten Grundformeln aufgestellt werden, schließt sich an eine Arbeit von Debye[4] an, in der gezeigt wurde, daß sich sowohl eine Kugelwelle als auch eine Kreiszylinderwelle endlicher Öffnung in mathematisch strenger Weise darstellen läßt durch Überlagerung

---

[1] Meßkin, Kußmann, Scharnow. [2] V. Vieweg, Linckh.

[3] Im einzelnen handelt es sich um die Arbeiten:

Über den Schwingungsvorgang, der einem beliebigen astigmatischen Strahlenbündel entspricht. *(Ann. d. Physik **77**. S. 685. 1925.)*

Die Intensitätsverteilung in einem astigmatischen Strahlenbündel in Abhängigkeit von Brennlinienabstand und Öffnung. *(Ann. d. Physik **80**. S. 491. 1926.)*

Spiegelung und Brechung eines beliebigen optischen Strahlenbündels endlicher Öffnung an einer ebenen Trennungsfläche. *(Zeitschr. f. Physik **39**. S. 933. 1926.)*

Reflexion eines beliebigen Strahlenbündels endlicher Öffnung an einem mit konstanter Geschwindigkeit bewegten Spiegel. *(Zeitschr. f. Physik **40**. S. 521. 1926.)*

Beitrag zur Theorie der Totalreflexion. *(Ann. d. Physik **3**. S. 433. 1929.)*

Beiträge zur Wellenoptik von Strahlenbündeln endlicher Öffnung und zur Optik bewegter Körper. *(Zeitschr. f. Physik **58**. S. 667. 1929.)*

[4] Debye, *Ann. d. Physik **30**. S. 755. 1909.)*

von unbegrenzten ebenen Wellen verschiedener Richtung und verschiedener Amplitude. Für eine Kugelwelle erhielt Debye so die Darstellung

$$u_P = \frac{ik}{2\pi}\int e^{-ik(x_P\cos\alpha + y_P\cos\beta + z_P\cos\gamma)}\, d\Omega; \quad k = \frac{2\pi}{\lambda}, \tag{1}$$

wo die Integration über die ganze Öffnung des Strahlenbündels zu erstrecken ist. Hierin kann $u_P$ aufgefaßt werden als eine Komponente des vom Faktor $e^{i\nu t}$ befreiten Hertzschen Vektors $\mathfrak{Z}$, aus dem sich bekanntlich elektrische und magnetische Feldstärke ($\mathfrak{E}$ bzw. $\mathfrak{H}$) nach den Formeln

$$\begin{aligned} e^{i\nu t}\operatorname{rot}\operatorname{rot}\mathfrak{Z} &= e^{i\nu t}\{\operatorname{grad}\operatorname{div}\mathfrak{Z} + k^2\mathfrak{Z}\} = \mathfrak{E} \\ e^{i\nu t}\, ik \operatorname{rot}\mathfrak{Z} &= \mathfrak{H} \end{aligned} \left(\text{bzw.} \begin{cases} = \ \ \mathfrak{H} \\ = -\mathfrak{E} \end{cases}\right)$$

ergeben.

Der Integrand für sich stellt eine ebene Welle der Richtung $\alpha$, $\beta$, $\gamma$ dar, bezogen auf ein Koordinatensystem, dessen Ursprung mit dem Brennpunkt der Kugelwelle zusammenfällt, und dessen $x$-Achse die Richtung der Achse des Strahlenbündels hat. Der Index $P$ bezeichneten den betrachteten Aufpunkt, für den $u$ bestimmt werden soll. Lassen wir die Koordinaten $x_P$, $y_P$, $z_P$ variieren, so erkennen wir leicht, daß der Integrand für sich der Schwingungsgleichung $\Delta u + k^2 u = 0$ streng genügt. Das gleiche gilt demnach auch für das Integral.

Nehmen wir nun an, es sei uns ein ganz beliebiges Strahlenbündel vorgelegt, so wird uns dieses entweder durch Angabe seiner geometrisch-optischen Wellenflächen oder durch seine geometrisch-optischen Lichtstrahlen oder endlich durch Angabe seiner Kaustikschalen gegeben sein. Bekanntlich sind ja die Wellenflächen als Flächen gleicher Phase Parallelflächen, so daß es genügt, die mathematische Darstellung einer von ihnen zu kennen. Sie sei durch die Vektorgleichung

$$\mathfrak{x} = \mathfrak{x}(v, w) \tag{2}$$

gegeben, wo $v$ und $w$ zwei Parameter sind, z. B. die Krümmungslinien der betreffenden Fläche, und $\mathfrak{x}$ den zu den einzelnen Punkten der ausgewählten Wellenfläche gehörigen Vektor in einem beliebigen Koordinatensystem bezeichnet. Die Komponenten dieses Vektors $\mathfrak{x}$ bezeichnen wir durch $\xi$, $\eta$, $\zeta$. Da durch diese Wellenfläche das Strahlenbündel vollständig gekennzeichnet ist, sprechen wir kurz von der Kennfläche des Bündels. Als solche ist vorteilhaft eine derjenigen Wellenflächen zu wählen, die ganz außerhalb der Kaustik liegen. Ist das Bündel ursprünglich nicht durch eine Kennfläche, sondern durch die Gleichungen seiner geometrisch-optischen Lichtstrahlen gegeben, so können wir doch die Gleichung der Kennfläche leicht bestimmen, da diese ja als Wellenfläche eine orthogonale Trajektorie zu den Lichtstrahlen darstellt. Umgekehrt sind die Lichtstrahlen die Normalen zur Kennfläche und als solche gegeben durch die Gleichung

$$\mathfrak{N} = \mathfrak{N}(v, w) = \frac{[\mathfrak{x}_v, \mathfrak{x}_w]}{\sqrt{[\mathfrak{x}_v, \mathfrak{x}_w]^2}}, \tag{3}$$

wo die angehängten Indizes die partiellen Ableitungen nach den betr. Parametern und die eckigen Klammern das Vektorprodukt bedeuten. Der Vektor $\mathfrak{N}$ ist ein Einheitsvektor, d. h. sein absoluter Betrag ist gleich 1. Seine Komponenten sind die Richtungskosinus der Lichtstrahlen, also etwa $\cos\alpha$, $\cos\beta$, $\cos\gamma$.

Als mathematisch exakter Ausdruck für das durch die Kennfläche $\mathfrak{x} = \mathfrak{x}(v, w)$ gegebene Strahlenbündel erhalten wir

$$u_P = \frac{ik}{2\pi}\iint e^{-ik(\mathfrak{x}_P - \mathfrak{x}(v,w),\, \mathfrak{N}(v,w))}\, \psi(v, w) \left|\left[\frac{\partial \mathfrak{N}}{\partial v}, \frac{\partial \mathfrak{N}}{\partial w}\right]\right| dv\, dw. \tag{4}$$

Neben den schon bekannten Größen $\mathfrak{x}(v, w)$, $\mathfrak{N}(v, w)$ treten hier noch die Größen $\mathfrak{x}_P$ und $\psi(v, w)$ auf. $\mathfrak{x}_P$ bezeichnet den vom Koordinatenursprungspunkt zum Aufpunkt gezogenen Vektor. Seine Komponenten sind also $x_P$, $y_P$, $z_P$; die Größe $\psi(v, w)$ ist eine reelle Funktion, die die Lichtverteilung auf der unendlich fernen Wellenfläche in Abhängigkeit von der Richtung der Lichtstrahlen charakterisiert.

Die Komponenten des die Strahlrichtung kennzeichnenden Vektors $\mathfrak{N}(v, w)$ sind $\cos\alpha$, $\cos\beta$, $\cos\gamma$. Wir führen an Stelle von $v$, $w$ die Größen $\cos\beta$, $\cos\gamma$ als Parameter ein. Dann ergibt sich als Ausdruck für das Strahlenbündel

$$u_P = \frac{ik}{2\pi}\iint e^{-ik(x_P\cos\alpha + y_P\cos\beta + z_P\cos\gamma - f(\cos\beta, \cos\gamma))}\,\psi(\cos\beta, \cos\gamma)\,\frac{d(\cos\beta)\,d(\cos\gamma)}{\cos\alpha}, \quad 5)$$

worin

$$f(\cos\beta, \cos\gamma) = \xi\cos\alpha + \eta\cos\beta + \zeta\cos\gamma \quad 6)$$

und

$$\left.\begin{aligned} \xi &= \xi(\cos\beta, \cos\gamma), \\ \eta &= \eta(\cos\beta, \cos\gamma), \\ \zeta &= \zeta(\cos\beta, \cos\gamma) \end{aligned}\right\} \quad 7)$$

die Parameterdarstellung der Kennfläche des betrachteten Strahlenbündels ist. Die Funktion $f = f(\cos\beta, \cos\gamma)$ können wir als Gestaltsfunktion bezeichnen, da allein in ihr die Kennfläche des Strahlenbündels, also dessen charakteristische Form auftritt.

Die Ableitung dieser Formeln geschah ähnlich wie die von Debye für die oben erwähnte Kugelwellendarstellung durchgeführte Ableitung. Ich möchte hierauf nicht im einzelnen eingehen, sondern nur den Grundgedanken kurz andeuten. Eine Lösung der Schwingungsgleichung $\Delta u + k^2 u = 0$ läßt sich bekanntlich auf Grund des Huyghensschen Prinzips in der Kirchhoffschen Formulierung finden. Es ergibt sich so, daß

$$u_P = \frac{1}{4\pi}\iint\left\{u\frac{\partial}{\partial n}\left(\frac{e^{-ikr}}{r}\right) - \frac{e^{-ikr}}{r}\frac{\partial u}{\partial n}\right\}d\sigma$$

ist, worin $\frac{\partial}{\partial n}$ die Ableitung nach der inneren Normalen der Integrationsfläche bedeutet. Die Integration ist zu erstrecken über eine Fläche, die den Aufpunkt von der Lichtquelle trennt. Um diese Formel aber anwenden zu können, müssen wir auf der Fläche, über die die Integration auszuführen ist, $u$ und $\frac{\partial u}{\partial n}$ — also eigentlich bereits die gesuchte Lösung der Differentialgleichung — kennen. Der Kunstgriff von Debye bestand nun darin, die Integrationsfläche ins Unendliche zu verlegen, da sich dort die erforderlichen Werte von $u$ und $\frac{\partial u}{\partial n}$ hinreichend genau auch ohne Kenntnis der Funktion $u$ angeben lassen.

Man erkennt leicht, daß die oben gegebene Formel für die Lichterscheinung in einem beliebigen Bündel in diejenige von Debye übergeht, wenn wir sie auf eine Kugelwelle anwenden. Denn bezeichnen wir die Koordinaten des Brennpunktes durch $a$, $b$, $c$, so lassen sich die Wellenflächen darstellen durch

$$\begin{aligned} \xi &= a + d\cdot\cos\alpha, \\ \eta &= b + d\cdot\cos\beta, \\ \zeta &= c + d\cdot\cos\gamma, \end{aligned}$$

wo $d$ einen die verschiedenen Wellenflächen liefernden Parameter bedeutet. Es wird

$$f(\cos\beta, \cos\gamma) = a\cdot\cos\alpha + b\cdot\cos\beta + c\cdot\cos\gamma + d.$$

Wählen wir den Brennpunkt als Koordinatenursprungspunkt, so ist $a = b = c = 0$, also $f = d$. Nehmen wir als Kennfläche noch die zum Brennpunkt ausgeartete Wellenfläche, so ist auch $d = 0$, d. h. $f = 0$. Ferner ist $\psi = 1$. Es ergibt sich so also direkt die von Debye aufgestellte Formel.

Wir erwähnen noch, wie aus dem eben Gesagten ($f = d$ bzw. $= 0$) schon hervorgeht, daß sich die Integralausdrücke, die man bei Wahl verschiedener Wellenflächen eines bestimmten Strahlenbündels als Kennfläche erhält, voneinander nur durch eine unwesentliche Phasenkonstante unterscheiden. In der erwähnten Arbeit ist dies ganz allgemein bewiesen.

Wir sahen oben, daß ein Strahlenbündel statt durch die Gleichungen seiner Lichtstrahlen oder die Gleichungen seiner Wellenflächen auch durch die Gleichungen seiner Kaustikschalen gegeben sein kann. Auch in diesem Falle läßt sich leicht die Gleichung der Kennfläche bestimmen, da sie ja als Wellenfläche eine der Evolventen der Kaustikschalen ist.

Aber auch ohne diesen Umweg über die Bestimmung der Wellenflächen lassen sich auf Grund der Formel

$$u_P = \frac{ik}{2\pi} \iint e^{-ik[(\mathfrak{x}_P - \mathfrak{y}(v,w), \mathfrak{N}(v,w)) + s^*(v,w)]} \, \psi(v,w) \left| \left[ \frac{\partial \mathfrak{N}}{\partial v}, \frac{\partial \mathfrak{N}}{\partial w} \right] \right| dv\, dw \qquad 8)$$

die Lichtverhältnisse in dem durch seine Kaustikschalen gegebenen Strahlenbündel bestimmen. In dem angeschriebenen Ausdruck ist $\mathfrak{y} = \mathfrak{y}(v, w)$ der von den Parametern $v, w$ abhängende Vektor zu den einzelnen Punkten einer der Kaustikschalen. Die Größe $s^*$ ist die Bogenlänge derjenigen geodätischen Linie der betrachteten Kaustikschale, die in Richtung des diese Schale im Integrationspunkt berührenden Lichtstrahls durch diesen Punkt hindurchgeht, gerechnet von ihrem Schnitt mit derjenigen orthogonalen Trajektorie auf der Kaustikschale, der — willkürlich — der Wert Null zugeordnet ist.

Da wir hier nur eine der Kaustikschalen berücksichtigten, im allgemeinen aber zu jedem Strahlenbündel zwei solcher Schalen gehören, so folgt, daß es zwei formal verschiedene Darstellungen des durch seine Kaustikschalen gegebenen Strahlenbündels gibt.

Bei achsensymmetrischen Strahlenbündeln — und um solche handelt es sich in der Praxis wohl meistens — artet die eine Schale der Kaustik aus. Sie fällt mit einem Teile der optischen Achse zusammen. Die andere Schale der Kaustik ist dann achsensymmetrisch. Sie besitzt eine Spitze. Die orthogonal-geodätischen Linien gehen über in polar-geodätische. Als Kurve $s^* = 0$ können wir hier die Spitze der Kaustik wählen, so daß die Bogenlängen $s^*(v, w)$ von der Spitze der Kaustik aus zu messen sind.

Wir wollen noch erwähnen, daß für den Fall des ebenen Problems, für den Fall einer Zylinderwelle mit Kaustik bereits von Debye in der genannten Arbeit ohne nähere Ableitung eine mathematische Darstellung gegeben ist, die von Fischer[1] sehr eingehend diskutiert wurde unter der Annahme, daß die Kaustik der Zylinderwelle Evolute einer Parabel ist.

Während die angegebenen Formeln die mathematische Darstellung für ein vorgegebenes Strahlenbündel lieferten, kann die Frage aufgeworfen werden, umgekehrt aus einer gegebenen Integraldarstellung das zugehörige Strahlenbündel geometrisch-optisch, also etwa durch Angabe seiner Wellenflächen, zu bestimmen. Von E. T. Whittaker[2]

---

[1] Fischer, *Ann. d. Physik* **72**. *S. 353. 1923.*

[2] Whittaker, *Mathem. Ann.* **57**. *S. 333. 1905.*

ist gezeigt, daß die allgemeinste Lösung der Schwingungsgleichung $\Delta u + k^2 u = 0$ sich stets in der Form

$$\iint e^{-ik[x_p \cdot \alpha(v,w) + y_p \cdot \beta(v,w) + z_p \cdot \gamma(v,w)]} \varphi(v, w)\, dv\, dw$$

darstellen läßt, wo $\varphi(v, w)$ eine komplexe Funktion bezeichnet und $\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2 = 1$ ist. Dieser Ausdruck ist im wesentlichen identisch mit dem von uns angegebenen. Wir können demnach jede Darstellung eines Schwingungsvorganges auf die Form 5) bringen

$$\frac{ik}{2\pi} \iint e^{-ik[x_p \cos\alpha + y_p \cos\beta + z_p \cos\gamma - f(\cos\beta, \cos\gamma)]} \psi(\cos\beta, \cos\gamma) \frac{d(\cos\beta)\, d(\cos\gamma)}{\cos\alpha}, \quad 5)$$

wo $f$ und $\psi$ reell sind. Die Wellenflächen des zugehörigen Strahlenbündels erhalten wir dann durch folgenden Ansatz:

$$\left.\begin{aligned}
\xi &= \xi(\cos\beta, \cos\gamma) = \cos\alpha \left[f - \cos\beta \cdot \frac{\partial f}{\partial(\cos\beta)} - \cos\gamma \cdot \frac{\partial f}{\partial(\cos\gamma)}\right] \\
\eta &= \eta(\cos\beta, \cos\gamma) = \cos\beta \left[f - \left(\cos\beta - \frac{1}{\cos\beta}\right) \frac{\partial f}{\partial(\cos\beta)} - \cos\gamma \frac{\partial f}{\partial(\cos\gamma)}\right] \\
\zeta &= \zeta(\cos\beta, \cos\gamma) = \cos\gamma \left[f - \cos\beta \frac{\partial f}{\partial(\cos\beta)} - \left(\cos\gamma - \frac{1}{\cos\gamma}\right) \frac{\partial f}{\partial(\cos\gamma)}\right]
\end{aligned}\right\} \quad 7^*)$$

Diese Umkehrung des Problems scheint mir besonders für praktische Zwecke wesentlich zu sein, wie wir unten noch näher sehen werden.

Einige Folgerungen aus der allgemeinen Diskussion der angegebenen Formeln seien hier noch kurz erwähnt:

Jeder Lichtstrahl erleidet in der Umgebung einer jeden der beiden Kaustikschalen eine anomale Phasenänderung vom Betrage $\frac{\pi}{2}$, bei der Kugelwelle, bei der beide Brennflächen in den Brennpunkt ausarten, in ihm also zusammenfallen, ergibt sich so der bekannte Phasensprung $\pi$. Ferner:

Die Lichtverhältnisse in irgendeinem Punkte ergeben sich näherungsweise, indem man die durch ihn hindurchgehenden geometrisch-optischen Lichtstrahlen unter Berücksichtigung ihrer Richtung zur Interferenz bringt, wobei natürlich darauf zu achten ist, ob der betreffende Lichtstrahl noch keine, eine oder bereits beide Brennflächen passiert hat, so daß ihm eine Phasenbeschleunigung vom Betrage 0, $\frac{\pi}{2}$ oder $\pi$ zu erteilen ist. In der Nachbarschaft der Brennflächen selbst modifizieren und komplizieren sich die Verhältnisse natürlich.

Die oben gegebene Darstellung eines beliebig vorgegebenen Strahlenbündels wurde in den ersten beiden Arbeiten auf einige spezielle Fälle angewandt.

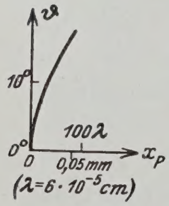


Abb. 1.

Betrachten wir zunächst ein rotationssymmetrisches Bündel mit sphärischer Aberration. Es wurde seinerzeit ein Bündel untersucht, dessen sphärische Längsaberration gegeben war durch $\frac{b}{2} \sin^2\vartheta \cos\vartheta$ mit $b = 1800\,\lambda$ und einem halben Öffnungswinkel $\vartheta_{\max} = \Theta = 17{,}5^0$. Die Kurve der sphärischen Längsaberration ist in Abb. 1 wiedergegeben.

Die zugehörige geometrisch-optische Kaustik hat die Form der Abb. 2. Hier deuten die gestrichelten Linien nur an, für welche achsensenkrechten Ebenen die Lichtverteilung im einzelnen ausgewertet wurde.

Abb. 3 gibt die Lichtverteilung längs der Achse des Strahlenbündels. Man erkennt, daß das Lichtmaximum nicht in der Spitze der Kaustik, bei $x = 0$, liegt,

sondern etwa in der Mitte der „ausgearteten" Kaustikschale, die ja, wie aus der vorigen Abbildung ersichtlich war, von $x = 0$ bis $x = 77{,}27\,\lambda$ reichte. Das Intensitätsmaximum liegt hier bei $x = 39{,}6\,\lambda$. Dieser Punkt ist nahezu ein Symmetriepunkt für die Lichtverteilung längs der Achse. In allen Fällen einer rotationssymmetrischen

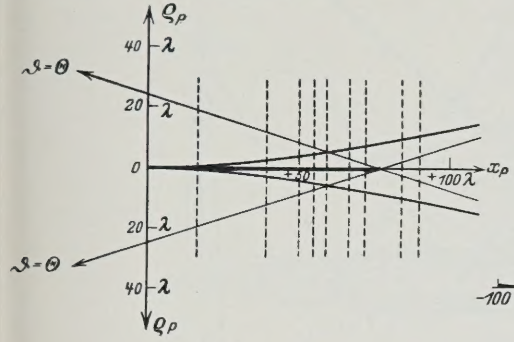


Abb. 2.

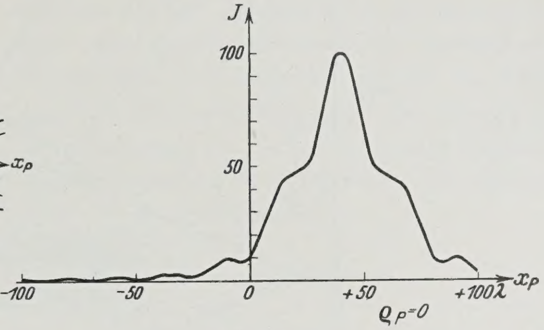


Abb. 3.

Kaustik existiert ein solcher Symmetriepunkt nahezu in der Mitte der ausgearteten Kaustikschale, doch ist dieser Symmetriepunkt nicht immer ein Intensitäts**maximum**, sondern kann auch ein Intensitäts**minimum** sein, das beiderseits in mehr oder weniger großem Abstande von je einem Intensitätsmaximum umgeben ist. Welcher von beiden Fällen eintritt, hängt von den Größen $b$ und $\Theta$ ab, genauer von der Größe

$$\frac{1}{2}\sin^2\Theta\,\sqrt{2\,|\,b\,|}\,.$$

In den Abb. 4 und 5 geben wir noch einen sogenannten Lichtgebirgsquerschnitt für das betrachtete rotationssymmetrische Strahlenbündel, und zwar besitzt Abb. 4 in Richtung der Ordinate und Abszisse gleichen Maßstab, während in Abb. 5 die Ordi-

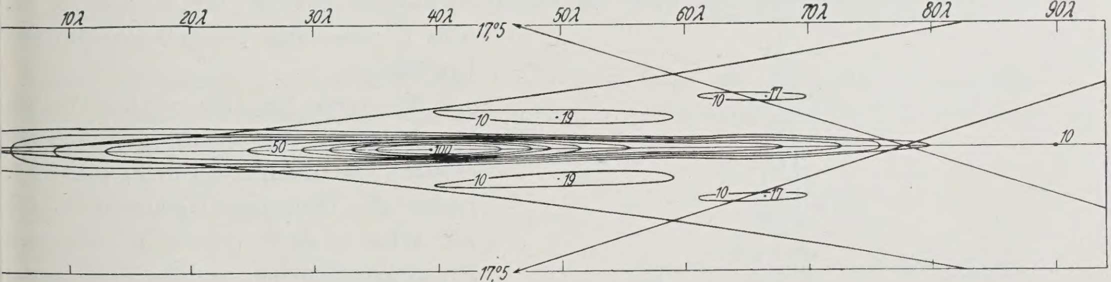


Abb. 4. Intensitätsverteilung des Strahlenbündels mit sphärischer Aberration.

nate fünffach vergrößert dargestellt ist, um die Einzelheiten der Niveaulinien, der Linien gleicher Helligkeit, besser hervortreten zu lassen. Eingezeichnet sind noch die geometrisch-optische Kaustik, die Randstrahlen des Bündels, sowie einige weitere geometrisch-optische Lichtstrahlen, die die Kaustik natürlich berühren. Man erkennt, daß das Intensitätsmaximum auf der optischen Achse, von dem wir oben schon sprachen, ein absolutes Maximum ist, dem willkürlich der Zahlenwert 100 zugeordnet wurde, und daß etwa parallel zur Kaustik noch einige weitere relative Intensitätsmaxima folgen. Im übrigen aber ist die Kaustik nicht wesentlich ausgezeichnet. Um noch den Unterschied dieses mit sphärischer Aberration behafteten Strahlenbündels gegenüber einer idealen Kugelwelle zu demonstrieren, geben wir noch in Abb. 6 die Intensitätsverteilung längs der Achse einer Kugelwelle von gleicher Öffnung ($\vartheta_{max} = \Theta = 17{,}5^0$).

Ein Vergleich mit der analogen Abb. 3 zeigt, daß das Intensitätsmaximum bei der Kugelwelle gleich dem 2,15fachen desjenigen des zuvor betrachteten Strahlenbündels ist.

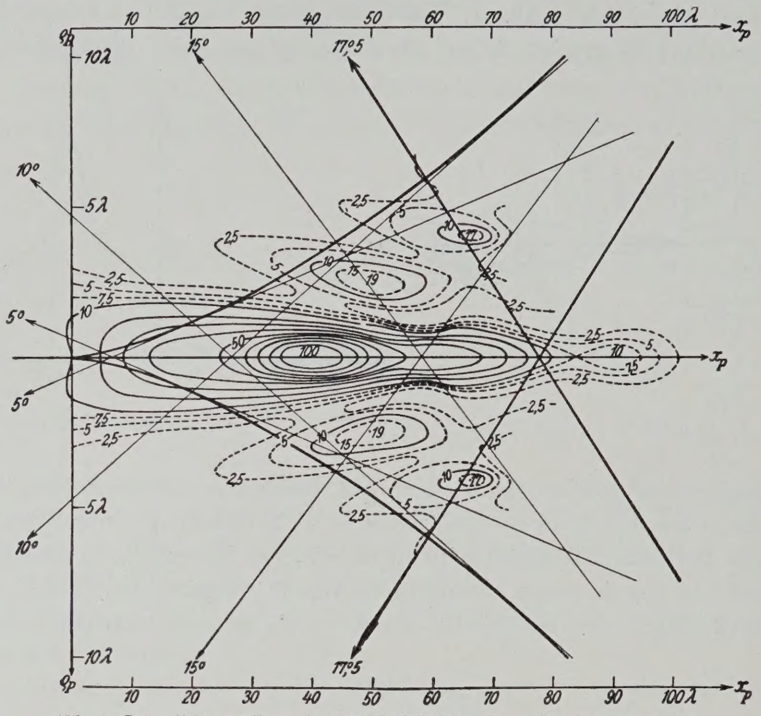



Abb. 5. Intensitätsverteilung des Strahlenbündels mit sphärischer Aberration. (Ordinate relativ zur Abszisse 5-fach vergrößert.)

Ein anderes ausführlich diskutiertes Beispiel ist das eines astigmatischen Strahlenbündels, das zwei näherungsweise geradlinige Brennlinien besitzt. Ihr Abstand sei $2a$. Abb. 7 zeigt die geometrisch-optischen Verhältnisse.

Es wurde hier zur mathematischen Vereinfachung eine quadratische Öffnung gewählt. Ist die halbe Öffnung gleich 0,1, bilden also diejenigen Randstrahlen, die die Achse in derem Schnitt mit der einen Brennlinie schneiden und die Ausdehnung

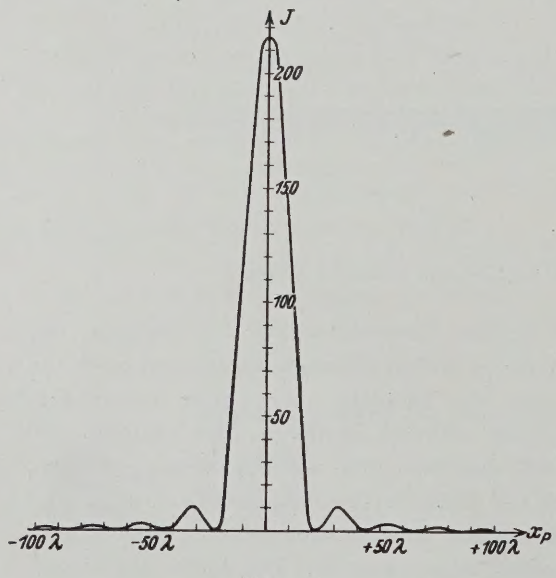



Abb. 6

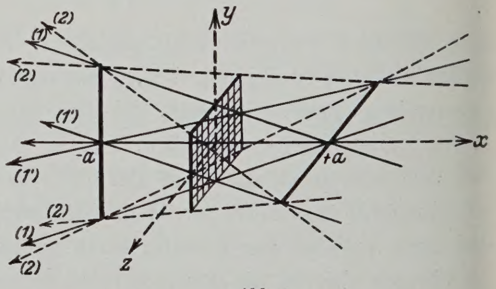



Abb. 7.

der anderen Brennlinie begrenzen, mit der Achse einen Winkel von etwa $5\frac{1}{2}^0$, so ergeben sich für die Intensitätsverteilung längs der Achse bei den verschie-

denen Brennlinienabständen folgende aus Abb. 8 bis 13 ersichtliche graphische Darstellungen.

Abb. 8 zeigt die Verhältnisse bei einer Kugelwelle längs der Achse, jetzt aber zum Vergleich mit den folgenden Abbildungen für eine quadratische Öffnung. In den übrigen Kurven kennzeichnen die Kreuze die Lage der geometrisch-optischen Brennlinien. Wir erkennen hier folgendes: Je nach der Größe des Brennlinienabstandes zeigt die Intensitätsverteilung längs der Achse des Strahlenbündels ein ganz verschiedenes Verhalten. Bei kleinem Brennlinienabstand machen sich diese nur wenig oder gar nicht durch getrennte Intensitätsmaxima bemerkbar. Erst bei größerem Abstand ist dies der Fall, und zwar — wie wir hier nicht näher zeigen wollen — bei größerer Öffnung des Bündels schon eher als bei geringerer.

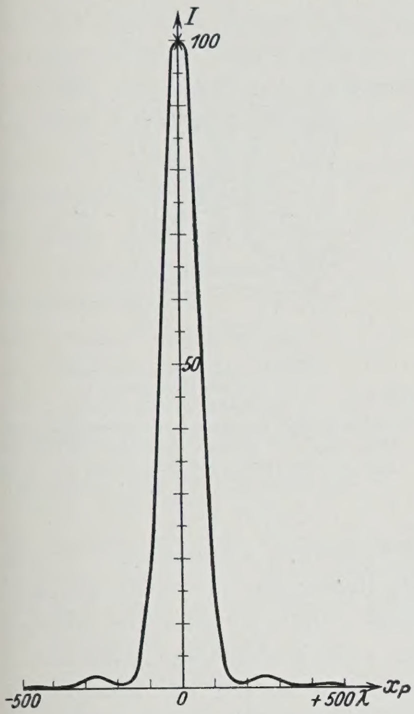



Abb. 8. Kugelwelle.
□-Öffnung: $\beta_1 = \gamma_1 = 0{,}1$.
Intensität längs der Achse ($y_P = z_P = 0$).

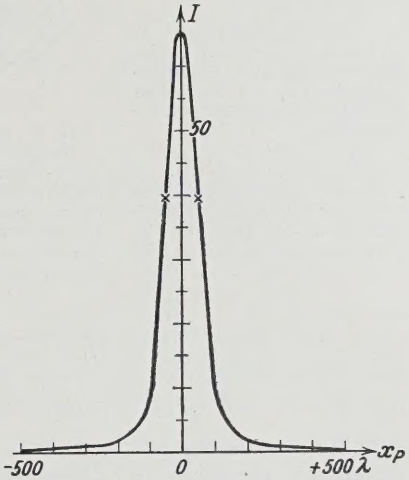



Abb. 9. Astigmatische Welle.
Brennlinienabstand 100 λ.
□-Öffnung: $\beta_1 = \gamma_1 = 0{,}1$.
Intensität längs der Achse ($y_P = z_P = 0$).

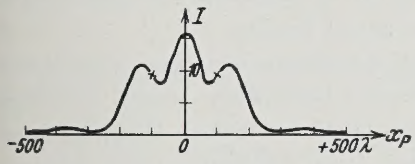



Abb. 10. Astigmatische Welle.
Brennlinienabstand 200 λ.
□-Öffnung: $\beta_1 = \gamma_1 = 0{,}1$.
Intensität längs der Achse ($y_P = z_P = 0$).

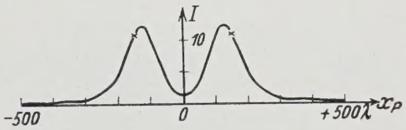



Abb. 11. Astigmatische Welle.
Brennlinienabstand 300 λ.
□-Öffnung: $\beta_1 = \gamma_1 = 0{,}1$.
Intensität längs der Achse ($y_P = z_P = 0$).

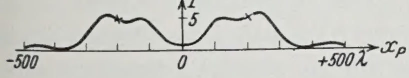



Abb. 12 Astigmatische Welle.
Brennlinienabstand 400 λ.
□-Öffnung: $\beta_1 = \gamma_1 = 0{,}1$.
Intensität längs der Achse ($y_P = z_P = 0$).

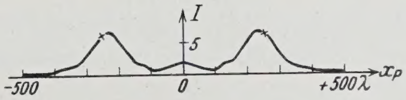



Abb. 13. Astigmatische Welle.
Brennlinienabstand 500 λ.
□-Öffnung: $\beta_1 = \gamma_1 = 0{,}1$.
Intensität längs der Achse ($y_P = z_P = 0$).

Wir geben noch in Abb. 14 bis 16 die Intensitätsverteilung in der achsensenkrechten Symmetrieebene eines astigmatischen Strahlenbündels, und zwar wieder für verschiedene Brennlinienabstände und eine halbe quadratische Öffnung vom Betrage 0,1.

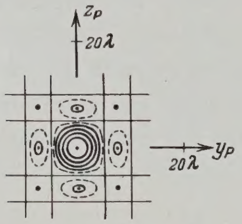



Abb. 14. Kugelwelle. □-Öffnung: $\beta_1 = \gamma_1 = 0{,}1$. Linien gleicher Helligkeit in der Brennpunktsebene $x_P = 0$. Eingezeichnet sind die (geraden) Linien voller Dunkelheit ($y_P = \pm 5\,\lambda$; $\pm 10\,\lambda \ldots$; $z_P = \pm 5\,\lambda$; $\pm 10\,\lambda \ldots$), außerdem die Intensitätslinien ((100)); 50; 25; 5; (1). Der Maximalwert in den Rechtecken ist etwa ((5,5)), in den kleinen Eckquadraten ((0,3)).

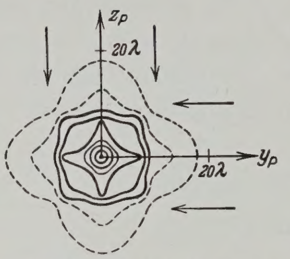



Abb. 15. Astigmatische Welle. Brennlinienabstand 200 λ. □-Öffnung: $\beta_1 = \gamma_1 = 0{,}1$. Linien gleicher Helligkeit in der Symmetriepunktsebene ($x_P = 0$). Eingezeichnet sind die Intensitätslinien ((15,8)); 15,0; 12,5; 10,0, 7,5; 5,0; 2,5, (1,25); (0,5).

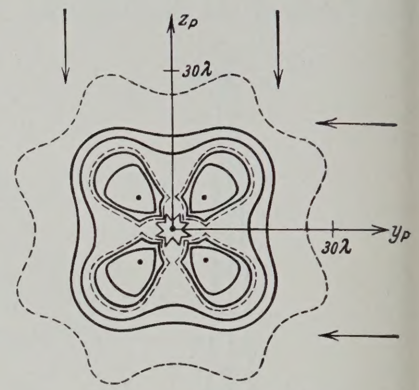



Abb. 16. Astigmatische Welle. Brennspiegelabstand 400 λ. □-Öffnung $\beta_1 = \gamma_1 = 0{,}1$. Linien gleicher Helligkeit in der Symmetriepunktsebene ($x_P = 0$). Eingezeichnet sind (in Richtung $y_P = z_P$) die Intensitätslinien ((0,8)), 1,0; (1,36); 1,5; 2,0; ((2,35)); 2,0; 1,5; (1,36); 1,0; 0,5; (0,1).

Hier bezieht sich Abb. 14 wieder auf eine Kugelwelle quadratischer Öffnung. Die Pfeile geben die eigentliche geometrisch-optische Begrenzung der Symmetrieebene, die oft als Ort bester Einstellung angesprochen wird. Von den unter den einzelnen Abbildungen angegebenen Zahlen beziehen sich die einfach eingeklammerten auf die gestrichelt gezeichneten Linien, die doppelt eingeklammerten auf die Maxima bzw. Minima der Intensität, die in den Abbildungen durch einen Punkt gekennzeichnet sind, die übrigen nicht eingeklammerten Zahlen auf die ausgezogenen Linien.

Die Intensitätsverteilung in einer durch die Brennlinien gelegten achsensenkrechten Ebene ist für die gleichen Strahlenbündel wie zuvor in den Abb. 17 und 18 als Lichtgebirgsquerschnitt dargestellt. Für die unter den Abbildungen stehenden Zahlen gilt das zuvor Gesagte.

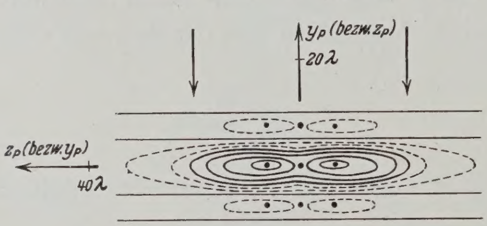



Abb. 17. Astigmatische Welle. Brennlinienabstand 200 λ. □-Öffnung $\beta_1 = \gamma_1 = 0{,}1$. Linien gleicher Helligkeit in den Brennlinienebenen $x_P = \pm a$. Eingezeichnet sind (in Richtung $+z_P$) die Intensitätslinien ((9,0)); 10,0; 15,0; ((15,6)): 15,0; 10,0, 5,0; 2,5; (1,25); 0,5.
Die geraden Linien $y_P = \pm 5\,\lambda$; $\pm 10\,\lambda$; ... kennzeichnen volle Dunkelheit. In den „Nebenlinien" sind die Intensitätslinien ((0 45)); (0,5); ((0,8)) eingezeichnet.

Mit Benutzung der oben angegebenen allgemeinen Darstellung eines beliebigen Strahlenbündels endlicher Öffnung lassen sich auch leicht Spiegelung und Brechung eines solchen beliebigen Bündels an einer ebenen Fläche behandeln. Dies ist in der an dritter Stelle genannten Arbeit geschehen. Der Grundgedanke jener Arbeit ist folgender: Da sich jedes Strahlenbündel endlicher Öffnung durch Überlagerung unbegrenzter ebener Wellen darstellen läßt, so kann man für jede einzelne dieser im Integranden auftretenden ebenen Wellen verschiedener Richtung und verschiedener Amplitude Spiegelung und Brechung nach den entsprechend verallgemeinerten Formeln der Maxwellschen elektromagnetischen Lichttheorie behandeln. Es ergeben sich hierbei wieder ebene Wellen, deren Richtung, Amplitude und evtl. auch Frequenz — nämlich bei bewegter Trennungsfläche — gegen die betr. Größen der einfallenden ebenen Welle

geändert sind. Durch erneute Zusammenfassung zu einem Integralausdruck ergibt sich die Darstellung des durch Spiegelung bzw. Brechung aus dem ursprünglichen entstehenden Strahlenbündels.

Ausgeführt wurden die vorstehenden Überlegungen für Spiegelung und Brechung an einer ruhenden ebenen Trennungsfläche sowie für Spiegelung an einer translatorisch bewegten ebenen Trennungsfläche.

Für das einfallende Strahlenbündel sei die $z$-Komponente des vom Faktor $e^{i\nu t}$ befreiten Hertzschen Vektors $\mathfrak{Z}$

$$\mathfrak{Z}_z = \frac{ik}{2\pi}\iint e^{-ik[x_P\cos\alpha + y_P\cos\beta + z_P\cos\gamma - f]}\,\psi_z\,\frac{d(\cos\beta)\,d(\cos\gamma)}{\cos\alpha}, \tag{9}$$

wo wieder $f = f(\cos\beta, \cos\gamma) = \xi\cos\alpha + \eta\cos\beta + \zeta\cos\gamma$ und $\psi_z = \psi_z(\cos\beta, \cos\gamma)$.

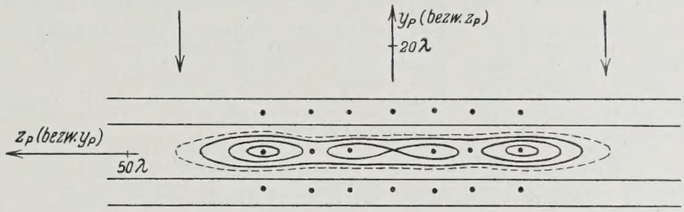



Abb. 18. Astigmatische Welle.
Brennlinienabstand 400 $\lambda$. □-Öffnung: $\beta_1 = \gamma_1 = 0{,}1$.
Linien gleicher Helligkeit in den Brennlinienebenen $x_P = \pm a$. Eingezeichnet sind (in Richtung $+z_P$) die Intensitätslinien 5,0; ((6,5)), 5,0; ((4,6)); 5,0, 7,5; ((8,5)): 7,5; 5,0; (2,5). Die geraden Linien $y_P = \pm 5\,\lambda$; $\pm 10\,\lambda$; ... kennzeichnen volle Dunkelheit. In den „Nebenbrennlinien" sind die Maxima und Minima angedeutet. Ihre Intensität ist $^1/_{20}$ von der der entsprechenden Punkte der $z_P$-Achse.

Eigentlich haben wir für jede Komponente von $\mathfrak{Z}$ einen solchen Ausdruck anzusetzen, die sich untereinander nur in der Funktion $\psi$ unterscheiden. Der Einfachheit wegen wollen wir annehmen, daß für $\mathfrak{Z}_x$ und $\mathfrak{Z}_y$ die Funktion $\psi$ den Wert Null habe, also $\mathfrak{Z}_x = \mathfrak{Z}_y = 0$. Dies bedeutet, daß wir für das einfallende beliebig gestaltete Strahlenbündel eine bestimmte Polarisation voraussetzen, nämlich $\mathfrak{H}_z = 0$. Für das an der ruhenden ebenen Trennungsfläche zweier Medien gebrochene Strahlenbündel ergibt sich

$$\left.\begin{aligned} \mathfrak{Z}'_x = 0;\quad \mathfrak{Z}'_y &= \frac{ik'}{2\pi}\iint e^{-ik'[x_P\cos\alpha' + y_P\cos\beta' + z_P\cos\gamma' - f']}\,\psi'_y\,\frac{d(\cos\beta')\,d(\cos\gamma')}{\cos\alpha'},\\ \mathfrak{Z}'_z &= \frac{ik'}{2\pi}\iint e^{-ik'[x_P\cos\alpha' + y_P\cos\beta' + z_P\cos\gamma' - f']}\,\psi'_z\,\frac{d(\cos\beta')\,d(\cos\gamma')}{\cos\alpha'},\end{aligned}\right\} \tag{10}$$

worin

$$f' = f'(\cos\beta', \cos\gamma') = \frac{1}{N} f(N\cos\beta', N\cos\gamma'); \qquad k' = Nk; \qquad \psi'_y = H'\cdot\psi';$$

$$\psi'_z = Z'\cdot\psi'; \qquad \psi' = \psi'(\cos\beta', \cos\gamma') = \frac{1}{N^3}\psi_z(N\cos\beta', N\cos\gamma').$$

Die Integration ist auszuführen in den Grenzen, die sich aus den Integrationsgrenzen des einfallenden Bündels durch Division durch $N$ ergeben, wo $N = \frac{n'}{n}$ das Verhältnis der Brechungsindizes ist. $H'$ und $Z'$ sind Funktionen von $N$ und den Integrationsvariablen und sind in der genannten Arbeit explizit angegeben. Zunächst sehen wir, daß zwar für $\mathfrak{Z}'_x$ die Funktion $\psi$ nach wie vor den Wert Null hat, daß dies aber nicht mehr für $\mathfrak{Z}'_y$ der Fall ist. Physikalisch heißt dies, daß die Polarisation des Bündels durch die Brechung verändert wurde. Wir wollen jedoch hier nicht näher darauf eingehen. Außerdem hat sich die das Strahlenbündel charakterisierende Funktion $f$ in $f'$ geändert. Aus dieser neuen Funktion $f'$ ergeben sich leicht nach den oben mitgeteilten Formeln die Wellenflächen des neuen durch die Brechung entstandenen Bündels. Für den speziellen Fall, daß das einfallende Strahlenbündel eine vom

Punkte $-a\cos\Theta$, $-a\sin\Theta$, 0 ausgehende Kugelwelle war, ergeben sich für die Wellenflächen des gebrochenen Bündels die Gleichungen

$$\left.\begin{aligned}
\xi' &= \frac{a}{N}\left(C - \frac{(1-N^2)\cos\Theta}{\sqrt{1-N^2\sin^2\alpha'}}\right)\cos\alpha' - a\,\frac{N\cos\alpha'}{\sqrt{1-N^2\sin^2\alpha'}}\cos\Theta,\\
\eta' &= \frac{a}{N}\left(C - \frac{(1-N^2)\cos\Theta}{\sqrt{1-N^2\sin^2\alpha'}}\right)\cos\beta' - a\sin\Theta,\\
\zeta' &= \frac{a}{N}\left(C - \frac{(1-N^2)\cos\Theta}{\sqrt{1-N^2\sin^2\alpha'}}\right)\cos\gamma',
\end{aligned}\right\} \qquad 11)$$

wo $C$ ein die einzelnen Wellenflächen liefernder Parameter ist.

Ganz ähnlich wie für die Brechung liegen die Verhältnisse auch für die Spiegelung, allerdings sind sie hier noch etwas einfacher. Die Form der Wellenflächen bleibt bei Spiegelung an einer ruhenden ebenen Trennungsfläche unverändert. Die Polarisation wird indessen auch hier verändert, d. h. es ist auch hier im allgemeinen die $y$-Komponente des Hertzschen Vektors von Null verschieden, obwohl bei der einfallenden Welle $\mathfrak{Z}_y = 0$ gesetzt war.

Für eine gekrümmte Trennungsfläche wurden die entsprechenden Überlegungen bisher nicht durchgeführt, auch wird die Durchführung auf gewisse prinzipielle Schwierigkeiten stoßen. Zunächst ist notwendig, die Formeln aufzustellen, nach denen eine ebene Welle an einer gekrümmten Trennungsfläche nach der elektromagnetischen Lichttheorie gespiegelt bzw. gebrochen wird. Dies aber wird sich wegen der zu berücksichtigenden Grenzbedingungen am leichtesten durchführen lassen, indem man solche Koordinaten zugrunde legt, die durch die Form der gekrümmten Trennungsfläche geboten werden, d. h. für die die gegebene Trennungsfläche eine Fläche konstanten Koordinatenwertes ist. Da die aus den ursprünglichen ebenen Wellen entstehenden Wellen jetzt nicht mehr eben sind, so ist zu prüfen, ob die Integration über sie eine strenge Lösung der Schwingungsgleichung liefert.

Um die Spiegelung eines beliebigen Strahlenbündels an einer translatorisch bewegten Ebene zu behandeln, haben wir folgendes zu beachten: Bei der Reflexion einer ebenen Welle an einer bewegten Ebene (oder allgemeiner: an einer bewegten Fläche) wird auch die Frequenz der Welle verändert. Die Stärke dieser Frequenzänderung hängt ab von der Geschwindigkeitskomponente des Spiegels senkrecht zu seiner Ebene und von der Richtung der einfallenden Welle. Da die verschiedenen, das einfallende Strahlenbündel bildenden ebenen Wellen verschiedene Richtung haben, so wird die Frequenzänderung bei der Spiegelung jener verschiedenen ebenen Wellen verschieden groß sein. Um sie berücksichtigen zu können, mußte der Hertzsche Vektor in seiner vollständigen Form, also mit dem Zeitfaktor $e^{i\nu t}$, angesetzt werden. Für das gespiegelte Bündel ergibt sich dann wieder ein entsprechender Integralausdruck, der sich indessen anschaulich geometrisch-optisch nur schwer interpretieren läßt. Wir wollen daher hier nicht näher auf das allgemeine Ergebnis eingehen, sondern nur den speziellen Fall betrachten, daß das einfallende Bündel eine Kugelwelle ist, die von einem vor dem Spiegel befindlichen ruhenden leuchtenden Punkte ausgeht. Er befinde sich auf der negativen $x$-Achse eines Koordinatensystems, dessen $yz$-Ebene der Spiegelebene parallel sei und mit ihr zur Zeit $t = 0$ zusammenfalle, Die Lage des leuchtenden Punktes sei also $x = -a$, $y = 0$, $z = 0$. Man sollte nun geometrisch-optisch erwarten, daß sich das Bild des leuchtenden Punktes mit der Geschwindigkeit $2v$ in Richtung der $x$-Achse bewege, wenn $v$ die Geschwindigkeit des Spiegels senkrecht zu seiner Ebene ist. Tatsächlich aber liegen die Verhältnisse bereits in

liesem einfachsten Falle wesentlich komplizierter. Bei hinreichend kleiner Öffnung des einfallenden (und demnach auch des reflektierten) Bündels läßt sich in erster Näherung sagen, daß das reflektierte Strahlenbündel nicht wie erwartet vom Punkte $(a + 2vt, 0, 0)$ ıerzukommen scheint, sondern vom Punkte $\left(a + 2vt - 2\frac{v}{c}(a + 2vt - x_P), 0, 0\right)$. Die Lage des Bildes weicht also von der erwarteten um einen Betrag von der Größen- ɔrdnung $\frac{v}{c}$ ab. Überraschend ist vielleicht noch das Auftreten der $x$-Koordinate des Aufpunktes, also des Ortes des Beobachters, doch läßt sich dies wohl physikalisch verstehen, da ja das zu einer bestimmten Zeit $t$ in den verschiedenen Aufpunkten vorhandene Licht vom Spiegel zu verschiedenen Zeiten reflektiert wurde, als er sich ılso an einem für die verschiedenen Aufpunkte verschiedenen Orte befand.

Für die Brechung an einer translatorisch bewegten Ebene und ebenso für Spiegelung und Brechung an einer rotierenden Ebene werden die Verhältnisse noch wesentlich komplizierter, wenigstens dann, wenn wir versuchen, für die so entstehenden Strahlenbündel wieder die exakte Integraldarstellung unter Berücksichtigung der richungsabhängigen Lichtverteilung, der Funktion $\psi$, zu bestimmen. Beschränken wir uns ıber darauf, die geometrisch-optische Gestalt der entstehenden Strahlenbündel zu betimmen, so läßt sich dies mit unseren Formeln und unter Benutzung der sogenannten Phasenforderung wenigstens näherungsweise durchführen. Hierzu ist es ja, wie wir ɔben sahen, nur notwendig, die zugehörige neue $f$-Funktion zu berechnen, die im Exɔonenten des Integranden auftritt, und — wie im Falle der Reflexion am translatorisch ɔewegten Spiegel — die evtl. Frequenzänderung sowie ihre Abhängigkeit von den Integrationsvariablen zu berücksichtigen. Dies ist in der an 6. Stelle genannten Arbeit geschehen. Die Phasenforderung, die der Ableitung der neuen Gestaltsfunktion $f$ zugrunde liegt, verlangt bekanntlich, daß einfallende, reflektierte und gebrochene Wellen ın allen Punkten der Trennungsfläche zu allen Zeiten in ihrer Phase übereinstimmen. Auf Grund dieser Forderung ergeben sich aus der das einfallende Bündel charakterisierenden Funktion $f = \xi\cos\alpha + \eta\cos\beta + \zeta\cos\gamma$ die entsprechenden neuen Funktionen $^*$, $f'$, $\underset{\to}{f^*}$, $\underset{\to}{f'}$, $\underset{\circlearrowleft}{f^*}$, $\underset{\circlearrowleft}{f'}$, indem man in $f$ die Größen $\cos\alpha$, $\cos\beta$, $\cos\gamma$ ersetzt durch gewisse zum Teil ziemlich komplizierte Funktionen der Richtungskosinus der neuen Lichtstrahlen (— in der genannten Arbeit sind sie explizit angegeben —) und im Fall der Brechung die so erhaltenen Funktionen noch durch $N$ dividiert. Außerdem st natürlich die oben erwähnte Frequenzänderung und ihre Abhängigkeit von den ntegrationsvariablen zu berücksichtigen. Näher durchgeführt ist dies für eine Kugelvelle als einfallendes Strahlenbündel.

Wir erwähnen hier noch das Resultat, das sich bei der Spiegelung an einer otierenden Ebene ergibt. Nach einer früheren Arbeit von H. A. Lorentz[1] sollte ein rotierender ebener Spiegel wie ein fokaler Spiegel wirken mit einer Brennweite, lie von der Rotationsgeschwindigkeit des Spiegels und von der Richtung des Hauptstrahles des einfallenden Bündels relativ zur Spiegelnormalen abhängen sollte. Die Lorentzsche Behandlung der Reflexion am rotierenden Spiegel benutzt gleichfalls die Phasenforderung, ist aber sonst geometrisch-optisch gehalten. Ich hatte sodann — gleichfalls geometrisch-optisch — das gleiche Problem unter Benutzung der Relativitäts-

---

[1] H. A. Lorentz, *Arch. Néerland.* **6.** *S. 303. 1901;* siehe auch Abhandlungen **1.** *S. 474.* Leipzig 1907.

theorie behandelt und gleichfalls eine scheinbare Fokalwirkung erhalten, deren Brennweite indessen doppelt so groß sein sollte wie die von Lorentz errechnete. Bei beiden Behandlungen war die Frequenzabhängigkeit von der Richtung bewußt nicht berücksichtigt worden. Das in der an 6. Stelle genannten Arbeit abgeleitete Resultat, das aussagte, daß die Fokalwirkung nicht vorhanden ist, sondern nur durch die Nichtberücksichtigung jener Frequenzabhängigkeit vorgetäuscht wurde, ist — worauf mich Herr Prof. v. Laue inzwischen freundlichst aufmerksam machte — nicht mehr Lösung der Wellengleichung $\Delta u - \frac{1}{c^2}\frac{d^2 u}{dt^2} = 0$ und muß daher falsch sein. Das gleiche gilt für die Behandlung der Brechung an einer rotierenden Ebene.

Beide Probleme sind daher bisher ungelöst.

Eine weitere Anwendung konnten die oben mitgeteilten allgemeinen mathematischen Darstellungen eines beliebigen Strahlenbündels endlicher Öffnung bei der Behandlung der Totalreflexion finden. Nach der bisherigen theoretischen Behandlung bestand hier insofern eine Diskrepanz, als der zeitliche Mittelwert der zur Trennungsebene beider Medien senkrechten Komponente der Energieströmung den Wert Null ergab, also keine Energie in das zweite optisch dünnere Medium im zeitlichen Mittel eindringen sollte, daß aber trotzdem im zweiten Medium dauernd Energie parallel zur Trennungsebene fließen sollte. Die jetzige Behandlung klärt diesen Widerspruch dahin auf, daß 1. die Energieströmung im zweiten Medium nicht streng zur Trennungsebene parallel ist, daß 2. an fast allen Stellen der Trennungsebene im zeitlichen Mittel ein dauernder Energieübertritt vom ersten ins zweite Medium bzw. umgekehrt stattfindet, und daß 3. dieser Energieaustausch zwischen beiden Medien so stattfindet, daß im zeitlichen Mittel ebensoviel Energie an gewissen Stellen vom ersten ins zweite Medium übertritt wie an anderen Stellen wieder vom zweiten ins erste Medium zurückflutet[1]. Ist die einfallende Welle eine ebene Welle, so läßt sich der zeitliche Mittelwert der Energieströmung an der total reflektierenden Ebene durch die rein schematische Abb. 19 veranschaulichen.

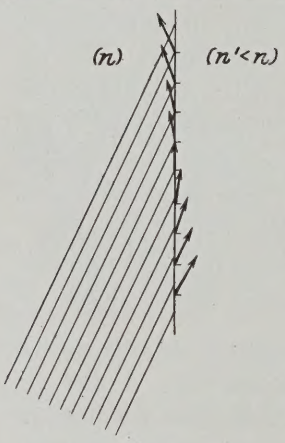


Abb. 19.

Die Pfeile an den einzelnen Stellen sollen den zeitlichen Mittelwert der Energieströmung nach Richtung und Größe angeben, wobei indessen die Neigung zur reflektierenden Ebene und deren Änderung sowie die Änderung der Größe längs der Ebene der Deutlichkeit wegen stark übertrieben gezeichnet wurden. Man erkennt, daß der Betrag des Strömungsvektors nach den Randstrahlen hin zunimmt, und daß auf der einen Seite die Energie vom ersten ins zweite Medium, auf der anderen Seite dagegen vom zweiten ins erste Medium übertritt.

Zum Schluß erwähnen wir hier noch eine weitere demnächst in den Ann. d. Physik erscheinende Arbeit, die die Richtung der Energieströmung in einer Kreiszylinderwelle behandelt.

[1] Eine kurze Darstellung dieser Verhältnisse wurde auf dem Prager Kongreß in dem Vortrage: „Die Energieströmung bei der Totalreflexion“ gegeben, der in der Physikal. Zeitschrift erschienen ist (*Physikal. Zeitschr.* ***30.*** *S. 905. 1929*).

# Die Lagrangesche Formel für die Vergrößerung beim Zeiss-Wild-Fernrohr.

Von
**P. Wilski** in Aachen.

Bezeichnet man bei einem gewöhnlichen geodätischen Fernrohr mit Okulartrieb die Brennweite des Objektivs mit $f$, die Brennweite der Okularlupe mit $f'$, so pflegt der Student in der Vorlesung über geodätische Instrumentenkunde zu lernen, daß für die Vergrößerung $v$ des Fernrohres die Beziehung besteht

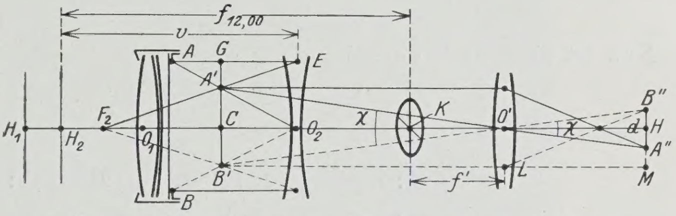
$$v = f : f'.$$

Dazu lernt er die Lagrangesche Formel:

$$v = D : d,$$

in welcher $D$ der nutzbare Objektivdurchmesser, also der Durchmesser der Eintrittspupille des Fernrohrs ist, und $d$ der Durchmesser des Ramsdenschen Kreises, also der Austrittspupille des Fernrohrs.

Im folgenden soll gezeigt werden, daß die Lagrangesche Formel auch für das Wild-Zeiss-Fernrohr gilt. Ich gestatte mir, mich dabei der Bezeichnungsweise zu bedienen, die ich in meinem Lehrbuch der Markscheidekunde Teil I angewandt habe. Die Abbildung stellt schematisch ein Zeiss-Wild-Fernrohr dar, das auf $\infty$ eingestellt ist. In der Abbildung ist $F_2$ einer der beiden Brennpunkte von $O_2$, so daß $F_2 O_2 = f_2$ ist, während $O_1 O_2 = e_\infty$ ist.




$AB$ = nutzbarer Objektivdurchmesser = Eintrittspupille des Fernrohres = $D$; $A'B' = D'$ = virtuelles Bild von $D$, entworfen durch die Zwischenlinse $O_2$; $O_1 O_2 = e_\infty$; $K$ = Fadenkreuzpunkt; $O'$ = äquivalente Linse der Okularlupe; $A''B''$ = Durchmesser der Austrittspupille = $d$.

Es ist dann leicht zu übersehen, daß $A'B' = D'$ das virtuelle Bild ist, das die Zwischenlinie $O_2$ von $AB = D$ entwirft. Die beiden Dreiecke $F_2 A' O_2$ und $AA'E$ sind nun offenbar ähnlich. Man hat daher

$$f_2 : e_\infty = CA' : A'G$$

oder

$$f_2 : e_\infty = \frac{D'}{2} : \left(\frac{D}{2} - \frac{D'}{2}\right) = D' : (D - D'),$$

woraus folgt

$$\frac{D'}{D} = \frac{f_2}{e_\infty + f_2}. \qquad 1)$$

Nun ist aus der Abbildung unmittelbar zu ersehen

$$F_2 C : F_2 O_2 = D' : D.$$

Nach 1) hat man also

$$F_2 C : f_2 = f_2 : (e_\infty + f_2),$$

$$F_2 C = \frac{f_2 f_2}{e_\infty + f_2},$$

$$C O_2 = f_2 - F_2 C = f_2 - \frac{f_2 f_2}{e_\infty + f_2} = \frac{e_\infty \cdot f_2}{e_\infty + f_2}. \qquad 2)$$

Nun folgt aus der Abbildung ferner noch

$$O_2 K = f_{12,\infty} - v, \qquad 3)$$

wo gesetzt ist:

$$v = \frac{f_2 \cdot e_\infty}{f_2 - f_1 + e_\infty}. \tag{4}$$

Setzt man 4) in 3) ein, so erhält man

$$O_2 K = \frac{f_1 f_2 - f_2 \cdot e_\infty}{f_2 - f_1 + e_\infty}. \tag{5}$$

Also ergibt sich durch Vereinigung von Gl. 5) und 2):

$$CK = O_2 K + CO_2 = \frac{f_1 f_2 - f_2 \cdot e_\infty}{f_2 - f_1 + e_\infty} + \frac{e_\infty f_2}{e_\infty + f_2} = \frac{f_2}{e_\infty + f_2} \cdot f_{12,\infty} \tag{6}$$

und daher

$$CO' = \frac{f_2}{e_\infty + f_2} \cdot f_{12,\infty} + f'. \tag{7}$$

Aus der Abbildung ergibt sich ferner

$$\chi = D' : CO'. \tag{8}$$

Nach 1) und 7) hat man daher aus 8)

$$\chi = \frac{f_2 D}{e_\infty + f_2} : \left\{ \frac{f_2}{e_\infty + f_2} \cdot f_{12,\infty} + f' \right\},$$

$$\chi = f_2 D : \{ f_2 \cdot f_{12,\infty} + f' \cdot (e_\infty + f_2) \} \tag{9}$$

Nun ist aber nach der Abbildung auch

$$\chi = d : O'H. \tag{10}$$

Ferner folgt aus der Abbildung noch

$$O'H : B'M = O'H : (B'L + O'H) = f' : B'L = f' : CO',$$

$$O'H : (CO' + O'H) = f' : CO'.$$

Hieraus erhält man

$$O'H = f' \cdot \frac{CO'}{CO' - f'} = f' \cdot \frac{CO'}{CK} = \frac{f' \cdot CO' \cdot (e_\infty + f_2)}{f_2 \cdot f_{12,\infty}}. \tag{11}$$

Aus 9), 10), 11) ergibt sich mithin

$$d = \chi \cdot O'H = \frac{f_2 D}{f_2 \cdot f_{12,\infty} + f' \cdot (e_\infty + f_2)} \cdot \frac{f' \cdot CO' (e_\infty + f_2)}{f_2 \cdot f_{12,\infty}}. \tag{12}$$

Nun ist nach 7)

$$CO' \cdot (e_\infty + f_2) = f_2 \cdot f_{12,\infty} + f' \cdot (e_\infty + f_2),$$

also folgt aus 12)

$$d = \frac{f_2 \cdot D \cdot f'}{f_2 \cdot f_{12,\infty}} = \frac{D \cdot f'}{f_{12,\infty}}, \tag{13}$$

oder schließlich

$$f_{12,\infty} : f' = v = D : d. \tag{14}$$

---

# Eine Abänderung des Wintersteinschen Mikrorespirationsapparates

Von

**Friedrich Bock** in Berlin-Dahlem.

(Mitteilung aus dem Laboratorium für Physiologische Zoologie der Biologischen Reichsanstalt.)

Im nachfolgenden sei eine Verbesserung des von Winterstein (1913) angegebenen Mikrorespirationsapparates beschrieben, wie sie sich in Versuchen über den Gaswechsel bei Insekten sehr bewährt hat. Über die Versuche selbst, die z. T. unter dem

Gesichtswinkel von Fragen der angewandten Entomologie angestellt wurden, und die Ergebnisse dieser Versuche wird an anderer Stelle berichtet[1].

Der von Winterstein[2] benutzte Apparat und ebenso der von Krogh[3] (1914) beschriebene, der seitdem häufig in mehr oder weniger abgeänderter Form [Bodine and Orr[4] (1925); Buddenbrock und v. Rohr[5] (1922) u. a.] gebraucht wurde, haben den Nachteil, daß nach einem Versuch für den Sauerstoffverbrauch ein solcher für die Ermittlung der Kohlensäureabgabe jedesmal neu angesetzt werden muß. Der Apparat muß bei jeder solchen Umstellung des Versuches — auch wenn man das gleiche Tiermaterial benutzt — aus dem Wasserbade herausgenommen und getrocknet werden, bestimmte Chemikalien sind entweder zu entfernen oder andere in die Versuchsgefäße hineinzubringen. Vor der Wiederaufnahme des eigentlichen Versuches muß der Apparat wieder die Temperatur des Wasserbades völlig angenommen haben. Alles dieses aber erfordert sehr viel Zeit und unerwünschte Unterbrechungen des Versuches. Andererseits

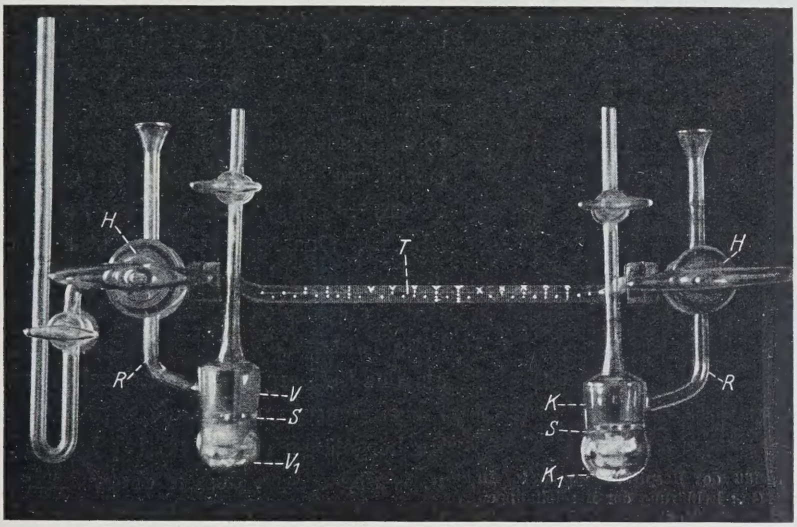



Abb. 1. Respirationsapparat in etwa $^3/_{10}$ nat. Gr. Erklärung der Bezeichnungen im Text.

sind die genannten Apparate in ihrer Handhabung doch relativ bequem und geben bei kleineren Objekten recht genaue Resultate, so daß sie sich durchweg größerer Beliebtheit erfreuen, als der im Jahre 1925 von Heller[6] beschriebene Respirationsapparat, der für manche Untersuchungen außerordentlich brauchbar sein dürfte.

---

[1] Fr. Bock, Versuche über den Gaswechsel der Insekten usw.; erscheint in *Zeitschr. f. angew. Entomol.* **16.** *1930.*

[2] H. Winterstein, Ein Mikrorespirationsapparat. *Zeitschr. f. biolog. Techn. u. Method.* **3.** *S. 247—250. 1913.*

[3] A. Krogh, Ein Mikrorespirationsapparat usw. *Biochem. Zeitschr.* **62.** *S. 266—279. 1914.*

[4] Jos. Hall Bodine and P. R. Orr, *Physiol. stud. on respir. metabolism. Biolog. Bull.* **48.** *S. 1—14. 1925.*

[5] W. V. Buddenbrock und G. v. Rohr, Die Atmung v. Dixippus morosus. *Zeitschr. f. allgem. Physiologie* **24.** *S. 111—160. 1923.*

[6] J. Heller, Untersuchungen über die Metamorphose der Insekten. II. Mitteilung. *Biochemische Zeitschr.* **165.** *S. 411—419. 1925.*

Diese Nachteile werden in dem von mir benutzten Apparat[1] vermieden. In Abb. 1 ist er in etwa $^3/_{10}$ der natürlichen Größe dargestellt. Die wesentlichen Teile sind zwei Gefäße: Das Versuchsgefäß (*V*) und das Kompensations- oder Gegengefäß (*K*). Beide stehen miteinander durch eine Kapillare von 15 cm Länge in Verbindung. In der Kapillare befindet sich als Sperrflüssigkeit ein Petroleumtropfen (*T*), der durch Sudanfärbung gut sichtbar ist. Die Kapillare trägt zur besseren Ablesung in Abständen von 5 zu 5 mm besondere Marken, die zweckmäßig mit weißer Ölfarbe aufgetragen werden. Das Gefäß links (*V*) dient zur Aufnahme der Versuchstiere, das Gefäß rechts (*K*) hat bekanntlich den Zweck, den Versuch von Schwankungen der Temperatur und des äußeren Luftdruckes so weit wie möglich unabhängig zu machen. Die Gefäße sind einander in Form und Größe möglichst gleich.

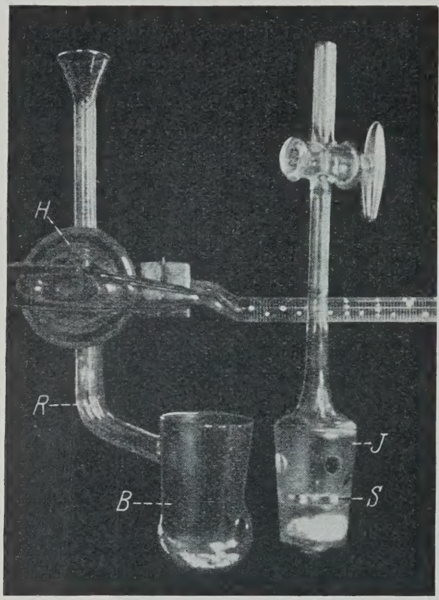



Abb. 2. Bechergefäß des Respirationsapparates in etwa $^2/_5$ der nat. Gr.; Erklärung der Bezeichnungen im Text.

Jedes dieser Gefäße besteht aus einem eigentlichen Innengefäß (*J*) und einem dieses umgebenden, oben offenen Bechergefäß (*B*). Diese beiden, die in Abb. 2 nebeneinander dargestellt sind, sind im Querschnitt völlig rund und müssen gasdicht geschliffen sein. Bechergefäß und Innengefäß verschmälern sich nach unten etwas, so daß letzteres von oben her in das untere hineingesetzt werden kann (siehe auch Abb. 3). Das Innengefäß setzt sich oben in ein (am besten kapillares) Rohr fort, das durch einen Hahn abgeschlossen werden kann. Das eigentliche Innengefäß (ohne dieses Rohr) ist kürzer als das Bechergefäß. Hierdurch wird nach dem Zusammensetzen der Gefäße im unteren Teil des Bechergefäßes ein Raum ($V_1$ bzw. $K_1$ in Abb. 1 u. 3) abgesperrt, dessen obere Grenzwand durch die Bodenwand des Innengefäßes gebildet wird. Diese unteren Räume werden zum Versuch mit Natronkalk beschickt, um die von den Tieren abgegebene Kohlensäure zu absorbieren. Sie sind im folgenden als Absorptionskammern bezeichnet. Das Innengefäß ist durch eine durchlöcherte Glasplatte (Siebplatte *S* in Abb. 1, 2 und 3) in zwei übereinander liegende Abschnitte geteilt. In den oberen Abschnitt kommen die Versuchsobjekte auf diese Siebplatte zu liegen. Die untere Kammer dient zur Aufnahme von Kalziumchlorid; der Boden des Gefäßes ist dazu in der Mitte etwas konkav gestaltet. Das Beschicken des Apparates mit Tiermaterial und mit Kalziumchlorid geschieht durch kreisrunde Bohrungen, die in besonderer Anordnung an der Gefäßwand angebracht sind. Jeder der beiden durch die Siebplatte getrennten Abschnitte des Innengefäßes besitzt zwei solche Öffnungen. (Man vergleiche dazu die schematischen Zeichnungen, Abb. 3 und 4.) In dem unteren Abschnitt liegen diese

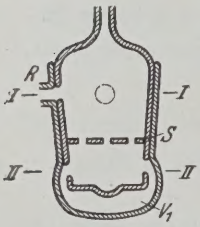



Abb. 3. Becher- und Innengefäß im Längsschnitt, schematisch. I-I und II-II Ebenen der in Abb. 4 dargestellten Querschnitte, Erklärung der übrigen Bezeichnung. im Text.

[1] Der Apparat wurde von Herrn K. Klein, Kaiser-Wilhelm-Institut für physikalische Chemie und Elektrochemie in Berlin-Dahlem, fertiggestellt. Für die ganz besonders exakte und gewissenhafte Ausführung, ohne die ein solcher Apparat überhaupt unbrauchbar ist, bin ich Herrn Klein sehr zu Dank verpflichtet.

Öffnungen um einen halben Kreisbogen voneinander getrennt, im oberen Abschnitt nur um einen viertel Kreisbogen.

Der untere Teil des Bechergefäßes ist nun nicht mehr kreisrund, sondern besitzt an zwei Stellen, die sich genau gegenüber liegen, zwei Ausbuchtungen (Abb. 2, 3 und 4 II). Diese Ausbuchtungen sind so angebracht, daß bei entsprechender Stellung (Abb. 4 IIa) die unteren beiden Öffnungen des Innengefäßes genau auf diese Aussackungen treffen. Dadurch wird eine Verbindung hergestellt zwischen der Absorptionskammer und dem Innengefäß. Dreht man das Innengefäß um 90$^0$ um seine Längsachse — was leicht an dem Hahn des Kapillarrohres zu bewerkstelligen ist —, so ist diese Verbindung unterbrochen. (Vgl. Abb. 4 IIb.)

In der zuerst angegebenen Stellung kann die Kohlensäure von dem Natronkalk absorbiert werden, die Druckverringerung im Gefäß entspricht also dem Sauerstoffverbrauch der Versuchstiere. Man könnte befürchten, daß die beiden Öffnungen zwischen Innengefäß und Absorptionskammer nicht ausreichten, die Kohlensäure genügend zu absorbieren. Bringt man jedoch geeignete Versuchsobjekte, etwa Fliegenpuppen, unmittelbar mit Natronkalk zusammen, und stellt den Sauerstoffverbrauch fest, so erhält man die gleichen Werte wie bei der durch die Konstruktion des Apparates bedingten Anordnung. Eine solche Befürchtung ist also nicht am Platze. Günstig ist auch, daß in Anbetracht des relativ hohen spezifischen Gewichtes der Kohlensäure, die Absorptionskammer unter dem eigentlichen Versuchsgefäß liegt.

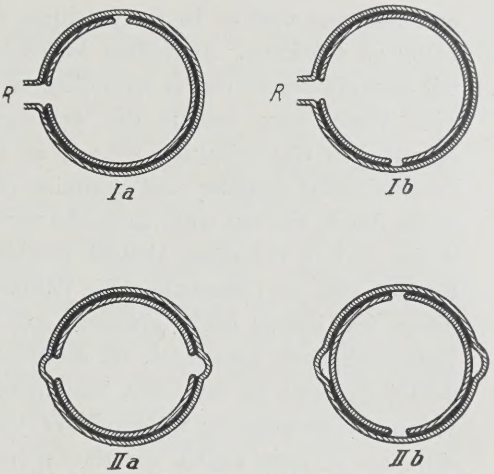



Abb. 4. Schematische Querschnitte durch Innen- und Bechergefäß in den in Abb. 3 angegebenen Ebenen I-I und II-II.
*a*: Stellung zur Bestimmung des Sauerstoffverbrauches; *b*: Stellung zur Bestimmung der Differenz $\Delta = O_2 - CO_2$.

Die Verbindung des Versuchsgefäßes bzw. die des Gegengefäßes mit der graduierten Kapillare geht durch die in den Abb, 1, 2, 3 und 4 mit *R* bezeichneten Glasröhre und kann durch die großen Hähne (*H*) unterbrochen werden. Die Röhren *R* sitzen dem Mantel der Bechergefäße an und führen zunächst in diese hinein. Die Einmündungsstelle wird jedoch durch die Wandung des Innengefäßes verschlossen und nur dann freigegeben, wenn eine der beiden oberen Löcher des Innengefäßes sich genau an der Einmündungsstelle befindet. Dadurch tritt aber das Innengefäß mit diesem Rohr und also auch mit der graduierten Kapillare in Verbindung. Wie schon erwähnt, sind die beiden oberen kreisrunden Öffnungen des Innengefäßes um ein viertel Kreisbogen voneinander entfernt. Eine dieser Öffnungen muß nun so gelegen sein, daß durch sie die Einmündungsstelle des Rohres *R* gerade dann freigegeben wird, wenn auch die Verbindung von Innengefäß mit Absorptionskammer durch eine entsprechende Stellung der beiden unteren Öffnungen frei ist (Abb. 3 u. 4 Ia). Nach der Drehung des Innengefäßes um 90$^0$ ist die Verbindung: Innengefäß—Absorptionskammer unterbrochen (Abb. 4 IIb), die Verbindung: Innengefäß—Rohr (*R*)—graduierte Kapillare dagegen wieder frei (Abb. 4 Ib). In der ersten Stellung erfolgt die Bestimmung des Sauerstoffverbrauches, in der zweiten die Feststellung der Druckverminderung, die durch die Differenz: aufgenommener Sauerstoff weniger abgegebene Kohlensäure bedingt ist.

Der wesentlichste Teil des Apparates ist durch die vorhergehenden Zeilen erklärt. Auf einige Einzelheiten sei noch hingewiesen. Die beiden großen Hähne (*H*) haben

eine T-Bohrung, die drei anderen nur eine einfache gerade Durchbohrung. Man kann so die Versuchs- und Kompensationsgefäße jederzeit beliebig mit der Außenluft nach zwei Seiten hin in Verbindung setzen und dabei die Verbindung mit der Kapillare aufrecht erhalten oder unterbrechen. Von den Hähnen ($H$) führen nach oben zwei kleinere Glasrohre, die mit einem kleinen Trichter enden. Es wird dadurch das Einbringen einer Flüssigkeit in die graduierte Kapillare erleichtert, was zu ihrer Säuberung von Wichtigkeit ist. Es ist unbedingt erforderlich, die Kapillare von Zeit zu Zeit zu reinigen, wozu man Chromschwefelsäure, Xylol und Alkohol benutzt.

An einer Seite des Apparates befindet sich ein U-Rohr angeschlossen, das einen besonderen Hahn besitzt, Schließt man an dem offenen Ende des U-Rohres eine Wasserstrahlluftpumpe an, so läßt sich bequem die Waschflüssigkeit aus der Kapillare heraussaugen und es ist ein Leichtes, die Kapillare und die übrigen Teile des Apparates völlig zu trocknen. Außerdem ist es bei dieser Konstruktion gut möglich, den Apparat mit irgendwelchen Gasen zu füllen, in denen man die Atmung der Tiere untersuchen will. Wenn man fernhin die weiter unten auseinandergesetzte Berechnung für den eigentlichen Gasverbrauch scheut, so kann man das U-Rohr, das dann allerdings im Innenschenkel kapillar und graduiert sein muß, mit Quecksilber anfüllen und das offene Ende durch ein mit einer Quetsche versehenes Gummihütchen verschließen, in derselben Weise und in derselben Absicht wie bei dem von Winterstein beschriebenen Apparat. Es läßt sich so bekanntlich die Volumenveränderung aus der Verschiebung des Quecksilbers im U-Rohr leicht ablesen. Auf diese bequeme Methode wurde jedoch bei meinen Untersuchungen verzichtet, da die Benutzung von Gummi immer eine Fehlerquelle bedeutet (Gummi ist für Gase, besonders für Kohlensäure, nicht vollständig dicht). Die Volumenverminderung während des Versuches wurde daher berechnet aus der Druckabnahme in dem Gefäß, die durch die Verschiebung des Petroleumtropfens ($T$) angezeigt wird. Die Formel für diese Berechnung leitet sich folgendermaßen ab (siehe dazu die schematische Zeichnung Abb. 5).

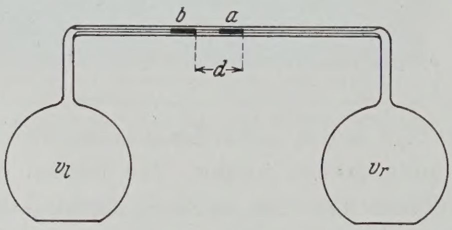


Abb. 5. Schema zur Erläuterung der Berechnungen. Näheres im Text.

Der Petroleumtropfen stehe zu Beginn des Versuches bei $a$, am Ende des Versuches bei $b$. Er ist also um ein Stück $d$, das beim Versuch abgelesen wird, gewandert. Vor Beginn des Versuches hat das Versuchsgefäß ein Volumen $v_l$ (eingerechnet: das Lumen der Glasrohre, die mit dem Gefäß direkt in Verbindung stehen und das Lumen der graduierten Kapillare bis zum Petroleumtropfen, abzurechnen sind die Volumen der Chemikalien und der Versuchsobjekte). Das Volumen des Gegengefäßes setzt sich in ähnlicher Weise zusammen und sei mit $v_r$ bezeichnet. Durch das Wandern des Petroleumtropfens ist das Volumen des Kompensationsgefäßes auf $v_r + d \cdot k$ gewachsen; $k$ ist dabei das Volumen der Kapillare pro Millimeter Länge. Ist nun zu Beginn des Versuches der Luftdruck $= p$, zum Schluß des Versuches $= p_n$, so gilt für das rechte Gefäß:

$$v_r \cdot p = p_n (v_r + d \cdot k),$$

woraus

$$p_n = \frac{v_r \cdot p}{v_r + dk}. \tag{1}$$

Im linken Gefäß ist durch die Atemtätigkeit $x$ mm³ Gas (sei es Sauerstoff oder der

Sauerstoff minus abgeschiedene Kohlensäure) der Luft vom ursprünglichen Druck $p$ entzogen, dann ist

$$(v_l - x)\,p = (v_l - dk)\cdot p_n\,.$$

$p_n$ ist nach Gleichung 1) bekannt; also

$$(v_l - x)\cdot p = \frac{(v_l - dk)\cdot v_r\cdot p}{v_r + d\cdot k}\,.$$

Daraus berechnet sich

$$x = \frac{(v_l + v_r)\cdot d\cdot k}{v_r + d\cdot k}\,.$$

Der so gefundene Wert ist dann in bekannter Weise auf $0^0$ und 760 mm Quecksilberdruck zu reduzieren.

Ich habe die Ableitung der Formel so ausführlich gebracht, da sie etwas von der abweicht, die Krogh[1] (1906) entwickelt hat, und die von späteren Autoren übernommen worden ist (Buddenbrock und v. Rohr[2] [1923], Bodine und Orr[2] [1925] Melvin[3] [1925] u. a.). Die Berechnung ist außerdem dadurch etwas vereinfacht, daß — im Gegensatz zu dem Kroghschen Apparat — der Druck der Manometerflüssigkeit keine Rolle spielt, wenn die Kapillare einigermaßen wagerecht steht.

Der Apparat ist auf einer Hartgummiplatte befestigt und wird zum Versuch in ein Wasserbad von konstanter Temperatur gehängt. Während der Versuche wird er von Zeit zu Zeit geschüttelt. Zur Vereinfachung der Berechnung ist es zweckmäßig, den Manometertropfen immer möglichst von gleicher Größe zu wählen und ihn zu Beginn des Versuches jedesmal an denselben Ausgangspunkt zu bringen. Man benutze auch immer die gleiche Menge Natronkalk und Kalziumchlorid. Auf diese Weise hat das Gegengefäß immer dasselbe Volumen ($V_r$) und das Volumen ($V_l$) des Versuchsgefäßes ändert sich nur mit dem Versuchsmaterial.

Im folgenden seien noch kurz die Ergebnisse einiger weniger Messungen wiedergegeben, um die Brauchbarkeit des Instrumentes zu zeigen. Ab und zu wurden zur Kontrolle Leerversuche unternommen, bei denen keine Versuchstiere im Apparat waren. Im Übrigen aber wurde genau so vorgegangen wie bei einem Versuch. Im Idealfalle müßte unter diesen Umständen der Petroleumtropfen immer an der gleichen Stelle stehen bleiben. Es ließ sich jedoch immer ein geringes Fortwandern des Tropfens um wenige Millimeter innerhalb einiger Stunden feststellen, was im Einzelnen aus nachfolgender Tabelle zu erkennen ist.

Tabelle 1.

I. Stellung wie bei $O_2$ Bestimmung

| Zeit | Stand d. Manometertropf. |
|---|---|
| $10^{54}$ | 106 |
| $11^{05}$ | 107 |
| $11^{17}$ | 106 |
| $12^{40}$ | 105 |
| $14^{20}$ | 100 |
| $15^{42}$ | 102 |

II. Stellung wie zur Bestimmung von $\Delta = O_2 - CO_2$

| Zeit | Stand d. Manometertropf. |
|---|---|
| $17^{21}$ | 140 |
| $17^{24}$ | 144 |
| $17^{29}$ | 140 |
| $17^{33}$ | 138 |
| $17^{38}$ | 136 |
| $18^{28}$ | 134,5 |
| $18^{43}$ | 135,5 |
| $18^{55}$ | 136 |

[1] Krogh, A., *Experimental researches* usw.; *Skand. Arch. f. Physiol.* **18.** *S. 382. 1906.*

[2] a. a. O.

[3] Melvin, R., *Oxygen consumption of insect egg, Biolog. Bull.* **55.** *S. 135—142. 1928.*

Dieses Wandern des Tropfens, was durchaus nicht immer in die gleiche Richtung hinein erfolgt, ist wohl durch geringe Temperaturschwankungen im Wasserbade zu erklären. Zwar wurde das Wasser während des Versuches ständig umgerührt, aber die mir zur Verfügung stehende Apparatur gestattete nur die Temperatur um etwa $^1/_5{}^0$ während ein bis zwei Stunden konstant zu halten. Dieser Versuchsfehler spielt jedoch bei meinen Beobachtungen keine Rolle, da immer nur ziemlich große Objekte, bzw. eine größere Zahl von Tieren gleichzeitig zur Untersuchung gelangte. Der Gasverbrauch war innerhalb kurzer Zeit dadurch so bedeutend, daß die eben erwähnten Schwankungen durch die Temperaturänderungen nicht ins Gewicht fallen. Das wird sofort aus nachfolgender Tabelle verständlich. Man achte besonders darauf, wie rasch und fast völlig gleichmäßig der Tropfen während dieses beliebig herausgenommenen Versuches wandert. In dem gewählten Versuch wurde der Gaswechsel von 10 Luciliapuppen unmittelbar nach der Verpuppung festgestellt.

Tabelle 2.

Bestimmung des $O_2$ Verbrauchs

Vor: $10^{35}$ bis $11^{25}$

(Während dieser „Vorzeit“ hängt der Apparat, völlig (auch mit Versuchstieren) beschickt, im Wasserbad mit nach außen offenen Gefäßen, so daß Temperatur und Druck sich ungehindert ausgleichen können.)

| Zeit | $t^0$ | Stand d. Tropfens |
|---|---|---|
| $11^{27}$ | 25,9 | 140 |
| $11^{32}$ | | 125 |
| $11^{37}$ | | 107 |
| $11^{42}$ | | 89 |
| $11^{47}$ | | 72 |
| $11^{57}$ | 25,7 | 40 |

Bestimmung der Differenz

$\Delta = O_2 - CO_2$

| Zeit | $t^0$ | Stand des Manometertropf. |
|---|---|---|
| $11^{58}$ | 25,7 | 140 |
| $12^{18}$ | | 114 |
| $13^{01}$ | | 58 |
| $13^{18}$ | | 37 |

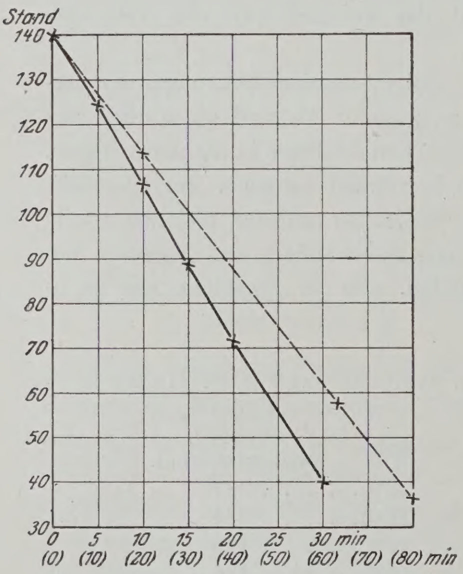



Abb. 6. Graphische Darstellung der in Tab. 2 wiedergegebenen Ablesungswerte. ——— Ablesung zur Bestimmung des verbrauchten Sauerstoffs; – – – – Ablesung zur Bestimmung der Differenz $\Delta = O_2 - CO_2$. Die eingeklammerten Zahlen auf der Abszissse gelten für die – – – Kurve.

Das fast völlig gleichmäßige Fortbewegen des Tropfens wird am besten nach der von Krogh angegebenen Weise durch eine graphische Darstellung Abb. 6 veranschaulicht, bei der die Zeit (Minuten) auf der Abszisse, der abgelesene Stand des Petroleumtropfens auf der Ordinate abgetragen ist[1].

Die in der Tabelle angegebenen Daten sollen zugleich benutzt werden, an einem Beispiel die Berechnung des Sauerstoffverbrauches und des Respirationsquotienten $RQ$ durchzuführen. Bei der Sauerstoffbestimmung hatte das Versuchsgefäß nach Abzug der Volumina für Kalziumchlorid, Natronkalk und 209 mmg Fliegenpuppen (aus Gewicht und spezifischem Gewicht zu ermitteln) einen Inhalt von

$$v_l = 18{,}302 \text{ cm}^3;$$

das Gegengefäß entsprechend

$$v_r = 17{,}090 \text{ cm}^3.$$

[1] Sich von dem gleichmäßigen Verlauf des Versuches zu vergewissern, ist besonders bei der Bestimmung von $\Delta = O_2 - CO_2$ wichtig, da die Gefäße nur etwa 100mal größer sind als das Volumen von 10 Fliegenpuppen. (S. Heller 1925 a. a. O.)

Der Tropfen war in einer halben Stunde von 140 bis 40 gewandert; also $d = 100$. 1 mm der Kapillare entspricht aber einem Inhalt

$$k = 0{,}00117 \text{ cm}^3 .$$

Nach der oben abgeleiteten Formel ist nun

$$x = \frac{(v_l + v_r) \cdot d \cdot k}{v_r + d \cdot k} = \frac{35{,}392 \cdot 0{,}117 \text{ cm}^3}{17{,}207} = 0{,}240 \text{ cm}^3 .$$

Der Versuch wurde bei einer Temperatur von 25,8° und einem äußeren Luftdruck von 762 mm Quecksilber ausgeführt. Die Reduktion des Gasvolumens auf 0° und 760 mm Druck erfolgt in der üblichen Weise, wobei gleich das Gasvolumen für die Atemtätigkeit von 1 kg Versuchstiere während einer Stunde umgerechnet wird. Die 10 Luciliapuppen wogen 0,209 g. Also

$$\text{red. } O_2 = \frac{0{,}240 \cdot 2 \cdot 762 \cdot 1000 \text{ cm}^3}{0{,}209 \cdot 760 \cdot \left(1 + \frac{25{,}8}{273}\right)} = 2100 \text{ cm}^3 .$$

Für die Bestimmung $\Delta = O_2 - CO_2$ sind die Gefäße um die Lumina der Absorptionskammer kleiner und haben den Inhalt

$$v_l = 15{,}510 \text{ cm}^3 ,$$
$$v_r = 14{,}130 \text{ cm}^3 .$$

In der Zeit von $12^{18}$ bis $13^{18}$ Uhr wandert der Tropfen um

$$d = 77 ,$$

Dann ist

$$x_\Delta = \frac{29{,}54 \cdot 77 \cdot 0{,}00117 \text{ cm}^3}{14{,}22} = 0{,}18715 \text{ cm}^3 = O_2' - CO_2' .$$

$O_2'$ bzw. $CO_2'$ bedeutet, daß die Werte noch nicht reduziert und noch nicht auf 1 kg Körpergewicht umgerechnet sind.)

$$O_2' = 2 \cdot 0{,}240 = 0{,}480 ,$$
$$CO_2' = 0{,}480 - 0{,}187 = 0{,}293 ,$$
$$RQ = CO_2' / O_2' = 0{,}293 / 0{,}480$$
$$= 0{,}61 .$$

Die Zeit, die erforderlich ist, um einen Versuch zur Feststellung des Sauerstoffverbrauchs und der Differenz $\Delta = O_2 - CO_2$ auszuführen, ist auf etwa $2^1/_2$ Stunden zu veranschlagen. Bei lebhaft atmenden Objekten kann sich die Beobachtungszeit etwa auf die Hälfte vermindern. Bei der Untersuchung des Gaswechsels von sehr kleinen Objekten, etwa Insekteneiern, dürfte es zweckmäßig sein, die graduierte Kapillare enger zu wählen. Es müßten aber dann an die Temperaturbeständigkeit des Wasserbades erheblich höhere Ansprüche gestellt werden[1]. Im allgemeinen wird aber die von mir gewählte und hier beschriebene Anordnung genügen dürfen.

Berlin-Dahlem, im Dezember 1929.

[1] Es ist bei geeigneter Apparatur durchaus möglich, das Wasserbad auf $^1/_{200}{}^0$ Temperatur konstant zu halten. Siehe Kipp, M., *Jahrb. wiss. Botan.* **71**. *S. 533—595. 1929.*

# Berichte.

## Sternradgetriebe.

*Von* K. Hoecken. *Zeitschr. d. Ver. d. Ing.* **74.** *S. 265—271. 1930.*

Eine wesentliche Notwendigkeit zur Befriedigung der sowohl in der Feinmechanik wie auch im Maschinenbau im Interesse größerer Wirtschaftlichkeit ständig steigenden Forderung nach Höchstleistungen ist neben der richtigen Auswahl des geeignetesten Baustoffes die zweckmäßigste konstruktive Durchbildung der Erzeugnisse.

Viele Erzeugnisse der feinmechanischen und elektrotechnischen Industrie wie Automaten, Rechenmaschinen, Telephon- und Kinoapparate u. a. m., wie auch die sogenannten Verarbeitungsmaschinen der Verpackungs-, Textil-, Zigaretten- und ähnlicher Industrien vermögen den an sie zu stellenden Anforderungen im besondern bei Dauerleistungen nur zu entsprechen, wenn auch ihre getriebliche Durchbildung dem heutigen Stande von Wissenschaft und Technik entspricht.

Es sind dies keineswegs immer leichte Aufgaben, die seitens der dazu berufenen Konstrukteure um so schwerer zu lösen sind, als ihnen an den technischen Bildungsstätten im Unterricht in der Getriebelehre trotz vieler Mahnrufe immer noch nicht diejenige Ausbildung zuteil wird, die der heutigen Bedeutung dieses Gebietes entspricht, oder der Unterricht sich nicht auf das erstreckt, was dem Konstrukteur zu wissen not tut.

In erster Linie sind dies die Verfahren, die geeignet sind, die Gliedabmessungen eines Getriebes zu ermitteln, so daß mittels desselben eine vorgegebene Aufgabe in bestmöglicher Weise erfüllt wird. Soweit von einem Unterricht in der Getriebelehre bislang überhaupt die Rede sein kann, wird derselbe im wesentlichen noch von der Reuleauxschen Lehre beherrscht, die sich in einer Systematik der Getriebe erschöpft und weiterhin wird auch wohl die Kenntnis der Zwanglaufbedingungen vermittelt, was aber beides nicht ausreicht, im gegebenen Falle den Konstrukteur von dem althergebrachten Verfahren des Probierens unabhängig zu machen.

Wenn auch auf diesem langwierigen und kostspieligen Wege unstreitig ausgezeichnete Ergebnisse erzielt sind, so ist doch nicht zu leugnen, daß je verwickelter eine getriebliche Anordnung sich gestaltet, desto seltener auf diese Weise das Bestmögliche erreicht werden wird, und daß vor allem eine Reihe von oft wertvollen Eigenschaften eines solchen Mechanismus überhaupt nicht zu Tage treten und ihre Entdeckung lediglich vom Zufall abhängig bleibt. Der einzige Weg, der hier zum Ziele führt und über alle Fragen restlos Aufschluß geben kann, ist die theoretische Untersuchung der Bewegungsvorgänge und die Getriebesynthese auf mathematischer Grundlage, wie sie ja für die am häufigsten verwendeten, einfacheren Getriebearten auch längst durchgeführt sind und mit ihren Ergebnissen ständig angewendet werden.

Es liegt in der Natur der Sache, daß sich die Schwierigkeiten dieser Untersuchungsmethoden nicht selten derart steigern, daß dem in der Praxis stehenden Konstrukteur ihre Durchführung nicht immer zugemutet werden kann und er sich darauf beschränken muß, die von anderer Seite gewonnenen Ergebnisse anzuwenden. Eine derartig bedingte Arbeitsteilung erscheint auch durchaus zweckdienlich, weil die wissenschaftliche Behandlung der einzelnen Probleme dann allgemeiner und eingehender durchgeführt werden kann, als dies der Einzelfall schließlich erfordert, womit einerseits die Ergebnisse vielseitiger und umfassender ausfallen und andererseits kostspielige Leerlaufarbeit vermieden wird, was heute mehr den je im Sinne der Wirtschaftlichkeit liegt.

Neben einem das Verständnis für die Durchführung und Auswertung derartiger Untersuchungen fördernden Unterricht wird eine systematische Durchforschung der Getriebe von diesem für die Praxis wichtigsten Gesichtspunkt in erster Linie Aufgabe der Technischen Hochschulen sein müssen. Durch eine solche Ergänzung der an sich vortrefflichen Reuleauxschen Getriebesystematik und Zwanglauflehre kann die Getriebelehre zu einem für den Maschinenbau grundlegenden und in sich abgeschlossenen Wissenschaftsgebiet ausgestaltet werden.

Die vorliegende Behandlung der Sternradgetriebe in diesem Sinne läßt erkennen, daß ein solcher Weg durchaus gangbar ist. Die Sternradgetriebe, deren Vorläufer das sogenannte Malteserkreuzgetriebe ist, wie es noch heute in Kinoapparaten zur Anwendung gelangt, ermöglichen eine vielseitige Anwendung als Schaltgetriebe, wenn es sich darum handelt, von einer ständig umlaufenden

Welle eine durch einzelne Ruhepausen unterbrochene Schaltbewegung periodisch abzuleiten. Es werden zunächst die durch die Gestalt des Einlaufschlitzes als Zykloide bedingten Bewegungs-, Geschwindigkeits- und Beschleunigungsverhältnisse untersucht und formelmäßig durch die das Getriebe bestimmenden Größen ausgedrückt. Die sich dabei für die Berechnung des Teilkreishalbmesserverhältnisses $\frac{r_s}{r_t} = \mu$ aus den für die Bewegungsabschnitte im Einzelfall vorgeschriebenen Drehwinkel $\varphi_s$ und $\varphi_t$ von Stern und Treiber ergebende Beziehung ist wegen ihrer transzendenten Form einer rechnerischen Auswertung unzugänglich. Es werden deshalb zwei verschiedene nomographische Verfahren angegeben, mit deren Hilfe zunächst ein Näherungswert ermittelt wird, aus dem durch eine Korrekturrechnung der gesuchte Wert $\mu$ erhalten wird.

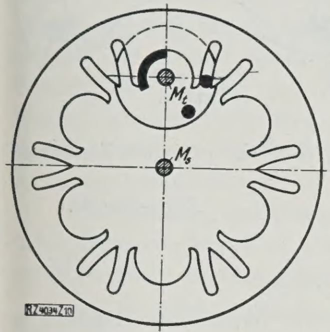


Abb. 1.

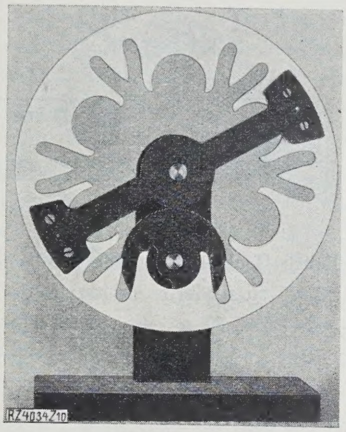


Abb. 2.

Die ausgeführten Nomogramme bieten überdies die Möglichkeit, sämtliche Grenz- und Sonderfälle dieser Getriebeart aufzufinden, von denen die bisher noch unbekannten Formen mit Innenverzahnung und Zahnstangen besonders bemerkenswert und hier in einigen Ausführungsformen im Bilde wiedergegeben sind.

Abb. 1 und 2 stellen ein innenverzahntes Sternradgetriebe dar, bei dem der Treiberteilkreis kleiner als der des Sterns ist. Bei demselben wird der Stern jedesmal um $^1/_6$ Umdrehung weiter geschaltet, während der Treiber dazu $^2/_3$ Umdrehung benötigt, so daß die jedesmalige Ruhezeit $^1/_3$ ist.

Abb. 3.

Abb. 4.

Abb. 3 und 4 geben ein derartiges Getriebe ebenfalls mit Innenverzahnung wieder bei dem der Treiberteilkreis größer als der des Sterns ist. Die Teilkreishalbmesser stehen im Verhältnis 2:1. Die Ruhezeit ist hier ebenfalls $^1/_3$, der Stern macht dagegen jedesmal eine volle Umdrehung.

Abb. 5 und 6 sind Sonderfälle des Getriebes, bei denen einer der beiden Teilkreise unendlich groß ist, wodurch der entsprechende Getriebeteil Zahnstangenform annimmt.

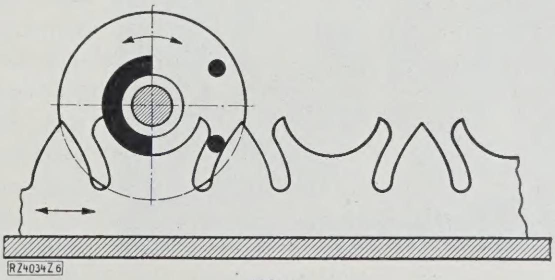


Abb. 5.

Schließlich gibt Abb. 7 einen Grenzfall des Sternradgetriebes wieder, bei dem die Ruhezeit unendlich klein ist und ein zylindrischer Sperrteil entbehrlich wird, weil hier beide Endtriebstöcke ständig im Eingriff sind und so auch in der Ruhelage den Zwanglauf sichern. Vermittels dieser äußerst einfachen Ausführungsform läßt sich von einer sich gleichförmig drehenden Welle eine zweite derart ungleichförmig antreiben, daß sie bei jeder Umdrehung einen Augenblick zum Stillstand kommt.

Die Auffindung einzelner dieser Formen würde wohl ohne die angewendeten Mittel kaum erfolgt sein, woraus sich ergibt, daß die Nomographie in solchen Fällen nicht nur ein unentbehrliches Rechenhilfsmittel, sondern darüber hinaus auch geeignet ist, die Erkenntnis der Zusammenhänge zu fördern und damit der Forschung dienlich zu sein.

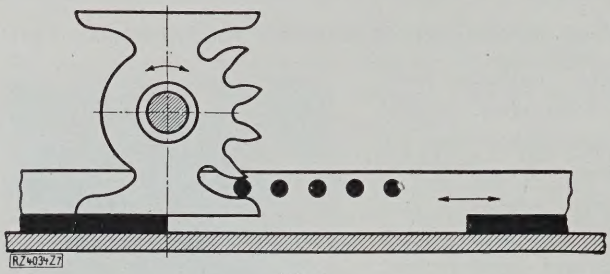


Abb. 6.

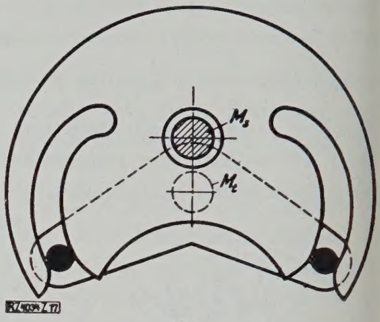


Abb. 7.

*Autor-Bericht.*

## Ein neuer Hochseepegel.

*Von* A. Werner. *Marinerundschau 1929, S. 509—516.*

Der in wesentlichen Teilen seiner Konstruktion nach Ideen des verstorbenen Kapitäns zur See a. D. A. Mensing vom Verfasser im Auftrage der Nautischen Abteilung der Marineleitung gebaute Hochseepegel stellt ein registrierendes Manometer dar, das die Schwankungen des Meeresspiegels auf offenem Meere aufzuzeichnen bestimmt ist. Das Manometer ist in einem mit dem Wasser in ständigem Druckausgleich befindlichen, auf dem Meeresboden aufgestellten Behälter, dem Pegelkessel, untergebracht und gestattet, die Unterschiede zwischen Hoch- und Niedrigwasser, unabhängig von der Wassertiefe, nach Zeit und Höhe in Form einer Kurve festzulegen.

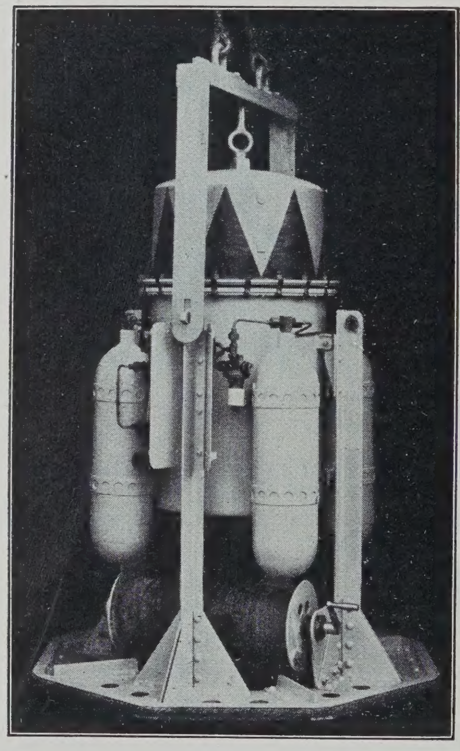


Abb. 1. Ansicht des Pegels.

Das bisher übliche vorherige Anfüllen des Kessels mit Preßluft, deren Druck dem zu erwartenden hydrostatischen Druck auf dem Meeresboden nahezu entspricht, wird hier ersetzt durch ein allmähliches während der Versenkung. Zu diesem Zwecke ist dem Kessel ein aus vier Flaschen bestehendes Preßluftreservoir (Abb. 1) nebst den erforderlichen Druckausgleichsventilen angegliedert, das mit dem Pegelinneren in Verbindung steht. Die neue Methode der Druckfüllung, die den Unterschied zwischen Innen- und Außendruck zu keinem Zeitpunkt den Betrag von einigen Zehnteln einer Atmosphäre überschreiten läßt, gestattet größere Freiheit in der Auswahl der zur Verwendung gelangenden Pegelventile und bietet auch sonst nicht unerhebliche Vorteile.

Der aus Ober- und Unterteil bestehende zylindrische Pegelkessel hat eine Höhe von rd. 100 cm bei 55 cm Durchmesser; sein Gesamtgewicht beträgt 350 kg. Der wasserdichte Abschluß beider Teile erfolgt durch Dichtungsnut und Feder in den Flanschen nebst eingelegter Klingeritdichtung und 20 Klappschrauben.

Zum Aufsetzen des Pegels dient der aus einer achteckigen Grundplatte und 4 Tragefüßen

gebildete Pegelstuhl von 260 kg Gewicht. Jeder der 4 Füße trägt auf der Innenseite in etwa 90 cm Höhe einen kurzen, kastenartig ausgebildeten Ansatz, in die 4 am Pegelmantel autogen angeschweißte Trageknaggen eingreifen. Der Pegel sitzt auf diese Weise beweglich, aber gegen seitliche Verdrehungen im Wasser geschützt, sicher in seinem Stuhl.

Da der Auftrieb des Pegels im Meerwasser 25—30 kg beträgt, so würde er beim Aussetzen sofort hochsteigen, wenn er nicht durch eine „kurze Verbindung", die die Mitte des Pegelbodens mit dem Pegelstuhl verbindet, zunächst daran gehindert würde. Außer dieser kurzen Verbindung, die zur bestimmten Zeit gelöst wird und die neben einer Sprengkapsel eine „Rostsicherung" enthält, ist noch eine zweite lange Verbindung des Pegels mit seinem Stuhl vorgesehen. Sie besteht aus einer mehrere hundert Meter langen Trosse aus Bronzedraht, die, anfänglich auf der leicht gebremsten Abrollvorrichtung aufgewickelt, vom aufsteigenden Pegel mitgenommen wird. Der Pegel wird also nach Art einer Mine versenkt, die selbsttätig zu vorbestimmter Zeit als Boje hochschwimmt. Während der sich über einen Zeitraum von normal 16 Tagen erstreckenden Registrierung besteht demnach keinerlei Verbindung des Pegels mit der Meeresoberfläche. Der, nach erfolgtem Aufstieg, bis zum Zeitpunkt der Einholung des Pegels als Anker dienende Pegelstuhl kann dann mittels der Trosse nachgeholt werden.

Das Aussetzen des Pegels geschieht durch eine auch bei großen Neigungen des Meeresbodens sicher arbeitende besondere Abstellvorrichtung (Abb. 1), die den Pegel nebst Stuhl frei gibt, sobald der Meeresboden berührt wird.

Am Pegelboden befinden sich außer einem zentralen Stutzen 2 Ventile, das Einlaufventil *E* und das Auspuffventil *A*, beide zum einmaligen Öffnen eingerichtet (Abb. 2). Sie bestehen aus einem einfachen Schraubstutzen, dessen unteres freies Ende durch eine mit Dichtungsflansch versehene dünnwandige Bleikappe geschlossen wird. Die Öffnung beider Ventile geschieht durch Abschneiden der Bleikappen mittels schräg herangeführter Messer aus rostfreiem Stahl. Bei beiden Ventilen liefert eine Schraubenfeder, deren Entspannung zunächst verhindert wird, die erforderliche Kraft. Das Einlaufventil wird einige Stunden nach erfolgter Aussetzung des Pegels geöffnet, nämlich dann, wenn die Entspannung der Feder durch Zerreißen einer Rostsicherung infolge Korrosion durch das Meerwasser herbeigeführt wird. Solche Rostsicherungen bestehen aus einer Legierung von Blei und Magnesium. Sie werden unter gegebenem Zug zu einem Zeitpunkt zerstört, der aus der prozentualen Zusammensetzung und den Abmessungen der Sicherung mit ausreichender Genauigkeit vorher bestimmt werden kann. Das Auspuffventil wird in dem Augenblick geöffnet, in dem der Pegelkessel hochzusteigen beginnt, einfach dadurch, daß ein mit dem Pegelstuhl verbundener Haltebolzen, der die Entspannung der Feder bisher verhinderte, aus seinem Lager herausgerissen wird. Die unter Umständen hochgespannte Luft im Kesselinneren kann dann, in dem Maße wie der hydrostatische Druck abnimmt, ausströmen, ohne den Kessel zu gefährden.

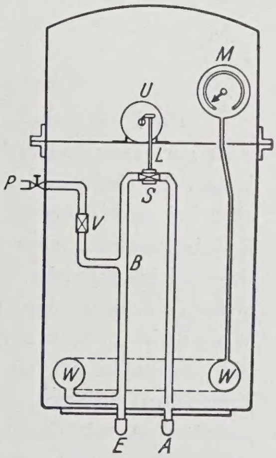


Abb. 2. Schema des Apparates.

Das Prinzip des Apparates ist aus der schematischen Abb. 2 ersichtlich. Vom Einlaufventil *E* führt eine Rohrleitung einerseits in den flachen, ringförmigen Windkessel *W*, der mit dem Schreibmanometer *M* in Verbindung steht, andrerseits führt eine Steigleitung, die sich bei *B* nochmals verzweigt, über das Ventil *V* zu den 4 Preßluftflaschen bei *P* bzw. über ein drittes Ventil, das Abschlußventil *S*, bis nahe über den Pegelboden zurück. Der Druck in den Flaschen ist so bemessen, daß nach erfolgtem endlichen Druckausgleich der im Kessel herrschende Druck etwas geringer ist als der vorher ermittelte hydrostatische Druck. Infolgedessen strömt durch das geöffnete Einlaufventil das Meerwasser in den Windkessel bzw. durch das Steigrohr und Abschlußventil in den Pegelkessel, und zwar so lange, bis der Ausgleich zwischen der Spannung der Luft im Pegel und dem äußeren Wasserdruck vollzogen ist. Durch ein bei *V* eingeschaltetes Rückschlagventil wird verhindert, daß das Wasser einen Weg in die Flaschen findet. Nach Öffnung des Einlaufventils bleibt das Abschlußventil *S* zunächst geöffnet, bis der Ausgleich der Temperatur aller Teile des Apparats mit dem umgebenden Meerwasser

stattgefunden hat. Erst nach 20 Std. etwa wird durch ein Auslöseuhrwerk *U*, dessen halbdurchschnittene herausragende Welle dann eine Drehung von 360° vollführt, ein darauf ruhender Auslösehebel *L* zum Abfallen gebracht, der seinerseits unter Vermittlung einer ausgelösten kräftigen Druckfeder das Hahnventil *S* schließt. Von nun an bleiben das Luftvolumen und der Druck im Kesselinneren, also auch der äußere Druck auf das Manometer, unveränderlich, und der Druckausgleich findet ausschließlich im flachen Windkessel statt, mit dem das Manometer in Verbindung steht. Der vom Schreibmanometer gemessene Druck bezieht sich also auf den senkrechten Abstand des Meeresspiegels von der Oberfläche des in den Windkessel eindringenden Wassers. Die Schwankungen aber, die sich hier infolge Ebbe und Flut abspielen, sind in Anbetracht des geringen Volumens von etwa 7 l so gering, daß sie vernachlässigt werden können.

Das Schreibmanometer, welches, ebenso wie das schon erwähnte Auslöseuhrwerk und ein Thermograph, auf der Apparatenplatte im oberen Teil des Kessels aufgestellt ist, besitzt zur Erhöhung der Energie der Bewegung zwei kräftige, parallel geschaltete Bourdon-Röhren von spiralförmiger Gestalt, deren Windung größer als 360° ist. Die Trommel von 500 mm Umfang wird durch ein kräftiges Uhrwerk angetrieben und macht alle 4 Tage eine Umdrehung, so daß einer Stunde eine Länge von etwa 5 mm auf der Nullinie entspricht. Da der auf das Manometer wirkende innere Druck sich mit dem Steigen und Fallen des Meeresniveaus ändert, wird der horizontal gelagerte Schreibhebel nach der einen oder anderen Seite, von der Nullinie aus gemessen, bewegt, und es entsteht ein Flutdiagramm. Dabei entspricht einer Niveauänderung von 1 m eine Ordinate im Diagramm von 20 mm Höhe; der gesamte Meßbereich umfaßt einen Tidenhub von 6 m.

Das Manometeruhrwerk dient außer zum Antrieb der Registriertrommel noch zur Betätigung eines elektrischen Kontaktes, der einen Stromkreis schließt, in dem sich außer einem Trockenelement die schon erwähnte Sprengkapsel in der kurzen Verbindung des Pegels mit seinem Stuhl befindet. Der Zeitpunkt des Kontaktes kann genau eingestellt werden. Die Sprengkapsel selbst, die nur 0,2 g Knallquecksilber enthält, befindet sich in dem verjüngten Teil des abgedichteten Stutzens, der aus der Mitte des Pegelbodens herausragt. Die geringe Sprengladung genügt vollkommen, um das mit einem Schutzmantel ausgerüstete Röhrchen von 0,5 mm Wandstärke mit Sicherheit zu zerreißen und den Pegel dadurch freizugeben. An die Vorrichtung zur Aufnahme der Sprengkapsel schließt sich als weiteres Glied in der kurzen Verbindung eine Rostsicherung an, die, einem normalen Arbeiten des Pegels von 16—18 Tagen entsprechend, innerhalb dieser Zeitspanne infolge Korrosion zerreißt. Es ist dies eine zwar weniger genaue, aber ganz sicher wirkende Vorrichtung, die zur Lösung des Pegels von seinem Stuhl auch dann führt, wenn aus irgendeinem Grunde die Zündung der Kapsel versagen sollte. *Autor-Bericht.*

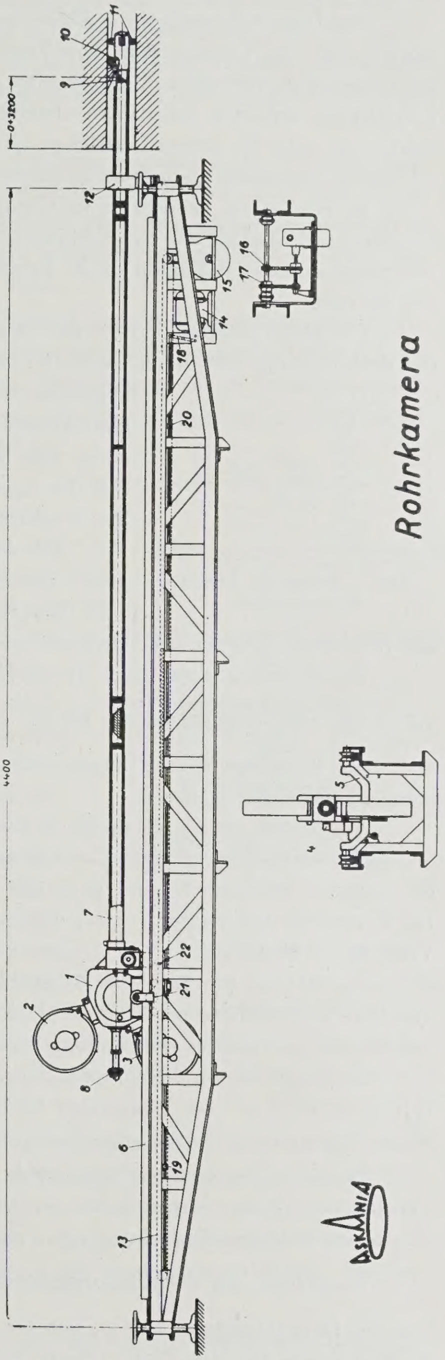
## Rohrkamera.

*Von* F. Beck. *Die Kinotechnik.* ***11.*** *Heft 7. 1929. Sonderdruck.*

Die Untersuchung der inneren Oberfläche von Hohlkörpern auf Materialbeschaffenheit und Güte der Verformungsarbeiten stößt ebenso wie die genaue Innenmessung auf erhebliche Schwierigkeiten. Es sind zwar optische Methoden entwickelt worden, die visuelle Beobachtung ermöglichen, aber bei aller Zuverlässigkeit dieser, wird der Erfolg in Frage gestellt, da die Beobachtung lange Zeit in Anspruch nimmt und es auch dem geübten Beobachter schwierig sein dürfte die Menge der Gesichtseindrücke zu behalten und zu ordnen. Das erschwert es, typische Erscheinungen zu erfassen: auch ist das Verfahren wenig rationell. Dem abzuhelfen hat der Verf. bei den Askania-Werken A.G., Bambergwerk die sogenannte „Rohrkamera“ entwickelt, die zu Untersuchungen der erwähnten Art an zylindrischen Hohlkörpern in Betracht kommt. Die Verwirklichung des sinnreichen Gedankens, das Innere des Zylinders in einzelnen Längsstreifen zu photographieren, gestattet es, mit einem Minimum an Filmstreifen auszukommen. Jeder Bildstreifen liefert ein in sich zusammenhängendes scharfes Bild. Das wird dadurch erreicht, daß das Aufnahmeobjektiv mit der gleichen Geschwindigkeit in entgegengesetzter Richtung bewegt wird, wie das zu untersuchende Objekt.

An Hand der Abbildung ist der Bau des Gerätes leicht zu übersehen. Das Kameragehäuse 1 enthält im Inneren das Bildfenster und eine Wickeltrommel und trägt die Vorrats- und Aufwickel-

kassete 2 und 3 und das Zählwerk 4, das den Filmverbrauch anzeigt. Die Kamera ruht auf dem Querträger 5, der mit seinen Laufrollen auf den auf einem Brückenträger oben angebrachten Laufschinen 6 rollt. Vorn an der Kamera ist das Betrachtungsfernrohr 7 drehbar befestigt. Mit Hilfe der Beobachtungslupe 8 wird die Einstellung auf Schärfe kontrolliert. Am Ende des Betrachtungsfernrohres ist das Umlenkprisma 9 und die Beleuchtungslampe 10 angebracht. Im Inneren des zu untersuchenden Hohlzylinders wird das Rohr mittels der Rollen 11, die je nach dem Objektivdurchmesser eingestellt werden können geführt. Die mit federnden, aber feststellbaren Führungsrollen versehene Lünette 12 stellt die Führung der Kamera im ausgefahrenen Zustand sicher. Die erforderliche Optik besteht aus 5 Linsen bzw. Linsenkombinationen und zwei Prismen. Die Objektivvorderlinse kann mittels eines am Kameragehäuse angeordneten Kordelknopfes und einer längs des Rohres laufenden verdeckten Triebstange verstellt werden. Zur Drehung des Betrachtungsfernrohres in die neue Arbeitsstellung nach vollendeter Aufnahme eines Bildstreifens dient die endlose Kette 13, die ein mit Anschlägen und Kupplungen versehenes Kettenrad am Querwagen verstellt. Der Grad der Drehung richtet sich nach dem Durchmesser des Hohlzylinders. Damit das Bild auch bei schräg seitlicher Lage des Winkelprismas 9 aufrecht auf das Bildfenster in der Kamera fällt, ist ein Aufrichteprisma, das der Drehung des Betrachtungsfernrohres im halben Winkel folgt, vorgesehen. Die Bewegung der Kamera besorgt der Motor 14 über das Wechselgetriebe 15, 16, 17 und Ketten- und Stahlbandzüge. Ein Umkehrschalter 18 steuert den Motor; der Schalter kann auch durch einstellbare Anschläge 19 und 20 von der Kamera selbsttätig betätigt werden. Damit sich der Aufnahmefilm genau proportional der Kamerabewegung abwickelt, ist ein filmartig perforiertes Stahlband, das zwischen den Enden des Brückenträgers gespannt ist, vorhanden. Auf ihm rollt die Schaltwalze 21 die die Kamerabewegung auf die in der Kamera liegende Filmwalze proportional überträgt. Eine Freilaufkupplung an dieser Schaltwalze sorgt dafür, daß bei Kamerarücklauf kein Filmtransport stattfindet. Richtige Belichtung des Films erfordert eine Bewegungsgeschwindigkeit der Kamera von $^1/_2$—$^1/_3$ m in der Minute. Die Belichtungszeit kann durch eine Schlitzblende im Bildfenster beeinflußt werden.




Hinsichtlich weiterer Einzelheiten der sinnreichen Apparatur muß auf den Originalaufsatz verwiesen werden, dem zur Erläuterung sechs Abbildungen und eine Reihe Aufnahmen, die mit dem Gerät gewonnen wurden, beigegeben sind.

*W. Keil.*

## Neue Untersuchungen des Temperaturkoeffizienten von Stahl und Elinvar.

*Nach* F. J. Scrase. *Journ. of Scient. Instr.* **6.** *S. 385—392. 1929* und A. Jaquerod und H. Mügeli. *Helvetica Physica Acta* **2.** *S. 419—444. 1929.*

Stahl hat bekanntlich die Eigenschaft, daß sich sein Elastizitätsmodul mit der Temperatur ändert. Für die Unruhspiralen von Taschenuhren und andere Geräte, wo diese Eigenschaft sich ganz besonders störend auf die erzielbare Genauigkeit auswirkt, ist daher seit Jahren das von Guillaume erfundene Elinvar verwendet, das solchen Änderungen in geringerem Maße unterworfen ist. Da die wissenschaftlichen Grundlagen noch mancher Ergänzung bedürfen, verdienen die beiden genannten Arbeiten besonderes Interesse.

In der ersten handelt es sich freilich um eine von der üblichen etwas abweichende Anwendungsart, nämlich um eine Verbesserung des Galitzinschen Vertikal-Seismographen des Observatoriums in KewTeddington durch Ersatz der bisher verwendeten Stahlspirale durch eine solche aus Elinvar.

Die Abb. 1 veranschaulicht den Grundgedanken des Instrumentes. Der wesentlichste Teil ist das dreieckförmige Pendelsystem $OAB$, das in $M$ eine Masse trägt und in der Horizontalachse in $O$ gelagert ist. Es wird durch die Feder $CA$ in der horizontalen Gleichgewichtslage gehalten. Unter dem Einfluß der Erdbewegungen entsteht eine relative Bewegung des Systems gegenüber dem festen Teil des Apparates, die durch besondere Vorrichtungen gemessen wird. Zur Justierung dient ein kleines verschiebbares Zusatzgewicht.

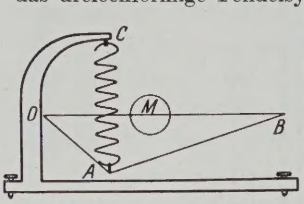


Abb. 1. Schema des Vertikal-Seismographen.

Die Abmessungen der neu eingesetzten Elinvarspirale sind folgende (in Klammern die der bisherigen Stahlspirale): Windungszahl 12,5 (15), Drahtdurchmesser 0,7 cm (0,6), mittlerer Durchmesser der Windungen 9,00 cm (7,4), Gesamtlänge 15,9 cm (15,6) unbelastet, Gesamtgewicht 1160 mg (810).

Experimentell ergab sich als Ausdehnung pro Einheit der Belastung ein Mittelwert von 4,28 $\mu$/mg, rechnerisch nach der Formel $\frac{\Delta h}{\Delta m} = \frac{g}{4\pi^2} \cdot \frac{T^2}{m}$ ein Wert 4,30 $\mu$/mg, so daß also mit 4,29 $\mu$/mg gerechnet werden kann. Demgegenüber betrug dieser Wert bei der bisherigen Stahlspirale 4,48 $\mu$/mg.

Vor Einbau der Elinvarspirale in das Gerät wurde sie einer längeren Untersuchung im *National Physical Laboratory* unterzogen. Unter 40 kg Belastung wurde die tägliche Längenänderung bestimmt, die zunächst bekanntlich sehr groß ist, dann allmählich verschwindet. Noch nach 56 Tagen — bei konstanter Temperatur — war dieser Wert 0,01 mm pro Tag. Demgegenüber ergaben andere Versuche in Straßburg von A. Dammann, auf die der Verfasser mehrfach hinweist, nach dieser Zeit nur 0,002 mm pro Tag. Die Temperaturabhängigkeit ergab sich zu 0,011 mm Längenänderung pro 1° C (in Straßburg nur 0,0036). Die Unterschiede sind offenbar auf die vorhergehende thermische und mechanische Behandlung zurückzuführen.

Im Anschluß an diese Prüfung wurde die Feder in das Instrument eingesetzt und längere Zeit gleichzeitig mit der Temperatur beobachtet, wobei jedesmal, wenn die Abweichung einen gewissen Grad erreicht hatte, eine Justierung erfolgte.

Nachdem der Verfasser ausführlich die theoretischen Grundlagen und ihre Benutzung bei der Versuchsauswertung behandelt hat, worauf hier des Raumes wegen, und da sie auch vielfach bekannt sein dürften, nicht eingegangen werden soll, gibt er folgendes Resultat.

Bezeichnen wir die Elastizitätskonstante $\frac{\Delta m}{\Delta h}$, d. h. die notwendige Mehrbelastung pro Einheit der Längenänderung, mit $\beta$, mit $\partial\Theta$ die Änderung der Temperatur, so ergeben die Messungen als Mittelwerte für die Elinvarspirale:

$$\frac{1}{\beta} \cdot \frac{\delta\beta}{\delta\Theta} = 19 \times 10^{-6},$$

für die Stahlspirale:

$$\frac{1}{\beta} \cdot \frac{\delta\beta}{\delta\Theta} = 220 \times 10^{-6}.$$

n Straßburg ergaben sich als entsprechende Werte für die Elinvarspirale $15 \times 10^{-6}$, für die Stahl-
pirale $240 \times 10^{-6}$.)

Bezogen auf die konstante Belastung von 40 kg ergibt sich für die Elinvarspirale eine Längen-
nderung von $3{,}8 \times 10^{-4}$ cm pro 1° C, für die Stahlspirale $37 \times 10^{-4}$ cm pro 1° C. Es ist darauf
inzuweisen, daß der Wert für die Elinvarspirale nur $^1/_3$ des Ergebnisses der Versuche im *National
hysical Laboratory* ist. Man sieht daraus, daß bei diesen Vorversuchen die Spirale ihren Beharrungs-
ustand noch nicht erreicht hatte.

Der Verfasser spricht dann näher über die Vorteile der Elinvarspirale in der Beobachtungs-
raxis. Während bei der Stahlspirale bereits eine Temperaturänderung von 0,25° C eine Nach-
stierung des Gerätes erforderte, ist diese jetzt erst bei 2° C Temperaturänderung erforderlich.
ei der früheren Stahlspirale war bereits die Eichung stets schwierig, da die aus der Nähe der
eobachter entstehende Wärmesteigerung bereits Einfluß hatte.

Während diese Untersuchung sich mit der Elastizitätsänderung bei Zugbeanspruchung der
eder befassen, sind die sehr langwierigen Versuche der zweitgenannten Verfasser auf Biegungsbe-
nspruchungen von Spiralen bei Drehschwingungen gerichtet, entsprechend dem Verwendungszweck
der Zeitmessung. Diese Versuche haben auch eine größere allgemeine Bedeutung als die für den
stgenannten Sonderzweck. Sie zeigen auch noch deutlicher den
oßen Einfluß der vorhergehenden Behandlung.

Nachdem Jaquerod und Mügeli bereits früher eine
schenuhrähnliche Versuchsmethode entwickelt haben, die aber
ehr als praktisches Näherungsverfahren zu betrachten ist, haben
e seit 1922 in ununterbrochener Beobachtertätigkeit und mehr-
cher Abänderung der Anordnung eine neue Methode mit Hilfe
nes Drehpendels entwickelt. Dabei werden einmal die Schwin-
ngen des Drehpendels allein, das andere Mal nach Einfüh-
ng einer hemmenden Spiralfeder aus dem zu untersuchenden
aterial beobachtet. Abb. 2 veranschaulicht die Anordnung
hematisch. Das Drehpendel besteht aus einem Elinvardraht
n 0,5 mm Durchm. und 1280 mm Länge, das oben in einem
sonderen Kopf derartig gelagert ist, daß es in rhythmische
hwingungen verschiedener Amplituden versetzt werden kann,
er allein in Drehschwingungen, ohne Störung der Gleichge-
chtslage. In der Mitte befindet sich ein Stahlstab von 10 mm
urchm. und 50 mm Länge, an dem eine Stahlscheibe von
mm Durchm. und 15 mm Dicke befestigt ist. Den unteren Teil des Pendels bildet ein weiterer
ahlstab von 2 mm Durchm., an dem ein Spiegel befestigt ist. Dieser macht also die Dreh-
hwingungen mit und gestattet in bekannter Weise durch zeitweilige Beleuchtung die Beob-
htung der Schwingungen.

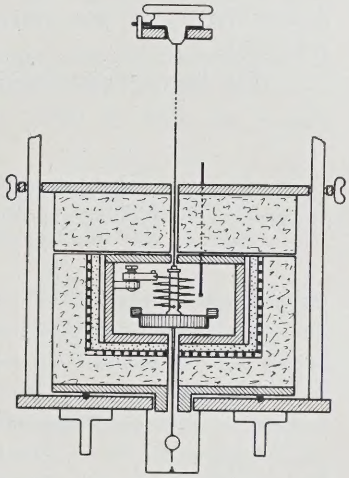


Abb. 2. Anordnung des Drehpendels.

Die ganze Anordnung schwingt frei in einem feinstufig regelbaren elektrischen Ofen, dessen
mperatur laufend gemessen wird. Im übrigen zeigt die Abbildung die Anbringung der zu unter-
chenden Spiralfeder. Eine Zusatzvorrichtung, bestehend aus dem angedeuteten, mit sanfter
ibung auf der Scheibe anliegendem Zusatzring, gestattet die Bestimmung des Trägheitsmoments.

Angenähert ergibt sich als Durchschnitt für die Periode des Pendels allein 12 Sek., für die
s Pendels mit Spiralfeder etwa 4 Sek.

Außerordentlich schwierig und mühsam war es zunächst, das ganze Pendelsystem ohne die
untersuchende Feder weitgehend unabhängig von Temperaturschwankung und von der Amplitude
machen. In den Jahren 1922 bis 1925 wurde daher mehrfach die Anordnung abgeändert, ins-
sondere der Elinvardraht des Drehpendels verschiedenen thermischen Bearbeitungen ausgesetzt,
n ihn soweit zu stabilisieren, daß er die Messung nicht mehr beeinflußte. Außerordentlich inter-
sant sind die in dieser Zeit erhaltenen Beobachtungen des Pendels; sie zeigen deutlich den großen
nfluß der richtigen Vorbehandlung.

Bei den dann erfolgenden Versuchen mit Stahl- und Elinvarspiralen wurde nach folgender Verfahren der Versuch ausgewertet:

Ist $T$ die Periode des Pendels allein, $T_r$ die des Pendels mit der untersuchten Feder, is ferner $I$ das Trägheitsmoment der beweglichen Anordnung, $i$ das scheinbare Trägheitsmoment de Spiralfeder, so ist das Elastizitätsmoment der Spirale zu errechnen aus:

$$M = 4\,\pi^2 \cdot \left[\frac{I+i}{T_r^2} - \frac{I}{T^2}\right].$$

Der Elastizitätsmodul $e$ in Abhängigkeit von der Temperatur ist dann durch die Formel wieder gegeben

$$\frac{e}{e_0} = \frac{M}{M_0}\left(\frac{1}{1+a\,t}\right)^3.$$

Darin sind $e_0$ und $M_0$ die Werte bei $0^0$ C, ferner $a$ der Ausdehnungsbeiwert $= \alpha + \beta\, t$.

Da es im wesentlichen hier nicht auf die absoluten Zahlenwerte, sondern auf den funktionale Verlauf ankam, so wurde $\alpha$ nicht ermittelt, was schwierig gewesen wäre, sondern für Stahl als gut Mittelwerte eingesetzt $\alpha = 11 \cdot 10^{-6}$, $\beta = 5 \cdot 10^{-9}$ und für Elinvar zu $\alpha = 8{,}83 \cdot 10^{-6}$; $\beta = 3{,}7 \cdot 10^{-9}$.

Diese aus den Beobachtungen abgeleiteten Werte für $\frac{e}{e_0}$ wurden in Vergleich gesetzt mit den jenigen Werten, die man erhalten würde, wenn man durch die Werte von $0^0$ und $80^0$ eine Ge rade zieht.

Für die verwendete Stahlspirale entspricht das einer Gleichung

$$\frac{e}{e_0}\ \text{gerechn.} = 1 - 0{,}000\,3075\, t\,.$$

Es wurden zwei verschiedene Elinvarspiralen aus dem gleichen Material, aber unter verschiedene thermischer Behandlung geprüft. Für die Probe 1 gilt die Gleichung

$$\frac{e}{e_0}\ \text{gerechn.} = 1 - 0{,}000\,045\,375\, t\,,$$

für die Probe 2:

$$\frac{e}{e_0}\ \text{gerechn.} = 1 - 0{,}000\,048\,137\, t\,.$$

Die Differenz $\Delta$ der aus der Beobachtung und der so errechneten Werte stellen die Abb. 3 und 4 dar. Die ausgezogene Kurve in Abb. 3 zeigt die Stahlprobe im endgültigen Zustand, die Kurven 1, 2, 3 in den verschiedenen Vorstufen der thermischen Behandlung, die also von großem Einfluß ist. Die Verfasser geben auch für die Elinvarproben eine Kurve wieder, auf die hier des Raumes wegen verzichtet wird, die den Einfluß der vorherigen Behandlung zeigt; nach 50 bis 60 Tagen tritt ein Beharrungszustand ein. Wie die Abb. 4 zeigt, sind die Kurven von $\Delta$ für die Elinvarproben von 0 bis $100^0$ angenähert konstant, dann wird $\Delta$ stark negativ. Es ist ein Zufall, daß die Verfasser gerade auf eine Elinvarprobe mit negativem Koeffizienten gekommen sind, die in der Uhrentechnik ohne Interesse wäre. Vor allem muß man die Zähigkeit der Verfasser anerkennen, mit der sie diese Beobachtungen über Jahre ausgedehnt haben. Die Erkenntnisse, vor allem über den Einfluß der Vorbearbeitung, dürften wohl von größerer Bedeutung für die Praxis sein.

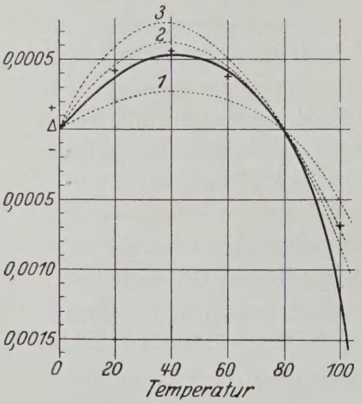



Abb. 3. $\Delta$-Kurven für Stahl.

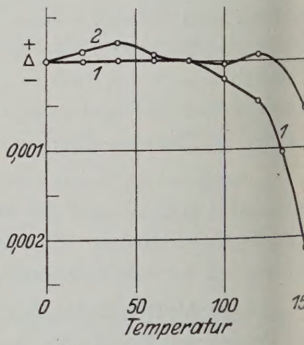



Abb. 4. $\Delta$-Kurven für Elinvar.

*J. B.*

# Bücherbesprechungen.

**'. A. Vening Meinesz,** *Theory and practice of pendulum observations at sea. Publications of the Netherlande Geodetic Commission. Delft 1929.*

Der Verfasser hat seine in verschiedenen Zeitschriften und in vorläufigen Veröffentlichungen ekanntgegebenen theoretischen Untersuchungen über relative Pendelmessungen zur See und deren raktische Ausführungen in einem ausführlichen Werk zusammengefaßt und in umfassender Weise ervollständigt.

Das Pendelverfahren besteht in seiner einfachsten Form darin, daß zwei gleiche Pendel in er gleichen Ebene auf einem gemeinsamen Stativ mit gleichen Amplituden in entgegengesetzter 'hase schwingen. Dieses Verfahren, das den Einfluß des Mitschwingens des Stativs auf die chwingungszeiten der Pendel in hohem Grade eliminiert, ist von dem Verfasser erstmalig bei einen Pendelbeobachtungen auf schwankendem Boden in Holland angewendet und erprobt worden. as Verfahren wurde für Pendelbeobachtungen in einem fahrenden Unterseeboot wie folgt abgeändert nd verfeinert. Aus den Differentialgleichungen für die Bewegungen zweier auf gemeinsamer Unterige schwingender Pendel geht durch Elimination des die Horizontalbewegung des Stativs dartellenden Gliedes eine neue Differentialgleichung hervor, die als Bewegungsgleichung für ein hypothetisches Pendel" aufgefaßt wird. Dieses Pendel ist sodann frei von dem Einfluß jeglicher orizontalbewegung des Pendelstativs.

Zum Studium des hypothetischen Pendels werden die Bewegungsgleichungen durch Einführung on Pendelvektoren umgeformt. Der absolute Betrag eines Pendelvektors ist der maximalen longation des Pendels gleich, während das Argument des Vektors durch die Phase des Pendels egeben wird.

Sämtliche Vorgänge, die die Bewegung eines einfachen Pendels $\left(T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}\right)$ ändern, werden ls Störungen angesehen, mittels Störungsvektoren in Rechnung gezogen und teils analytisch, teils raphisch behandelt.

Der bei den Pendelbeobachtungen auf den Ozeanen benutzte Drei-Pendel-Apparat wird einehend beschrieben. Die drei Halbsekunden-Pendel (nach v. Sterneck-Stückrath) schwingen in der leichen Ebene in je etwa 13 cm Entfernung voneinander. Werden die Elongationen der Pendel er Reihe nach mit $\Theta_1$, $\Theta_2$, $\Theta_3$ bezeichnet, so werden die Winkel $\Theta_1 - \Theta_2$, $\Theta_3 - \Theta_2$, $\Theta_2$ mittels ner geeigneten Spiegel- und Prismenanordnung durch eine photographische Filmapparatur registriert. ie Winkel $\Theta_1 - \Theta_2$ und $\Theta_3 - \Theta_2$ stellen im wesentlichen die Elongationen zweier hypothetischer endel dar. Die Anordnung der Lichtwege gestattet es auch, die Schwingungszeiten der beiden ypothetischen Pendel aus den Filmaufnahmen leicht zu entnehmen. Mit Verwendung eines stark edämpften Hilfspendels wird die Schlingerbewegung des Schiffes auch photographisch aufgezeichnet. it Hilfe eines Metallthermometers wird ferner die Temperatur fortlaufend registriert.

Die Zeitübertragung geschieht mittels eines Kontaktchronometers; dieses betätigt einen oinzidenzapparat, der jede Sekunde die Registrierung einen sehr kurzen Moment unterbricht. Eine raktische Aufhängevorrichtung nimmt sowohl den Pendelapparat als auch die photographische egistriereinrichtung auf.

Ausführlich behandelt der Verfasser die verschiedenen Justierungen, die vor den Beobachtungen orgenommen werden müssen, alsdann die Praxis der Beobachtungen selbst. Der letzte Abschnitt es Werkes stellt die Auswertung der Aufnahmen dar.

Im ganzen liefert das Werk einen Beweis davon, was gründliche theoretische Überlegungen n Verein mit feinsinnigen technischen Konstruktionen zu leisten vermögen. Die gravimetrische iteratur ist durch die Arbeit Vening-Meinesz' um ein Meisterwerk bereichert worden. *Schmehl.*

**. Mark,** Die Verwendung der Röntgenstrahlen in Chemie und Technik. Ein Handbuch für Chemiker und Ingenieure. (Handb. d. angew. physikal. Chemie, Band XIV.) 8°. XVI, 528 S. m. 328 Abb., 73 Tab. u. einer Tafel. J. A. Barth. Leipzig, 1926.

Es hat sich im Laufe der letzten Jahrzehnte die (teilweise verständliche) Gewohnheit herısgebildet, bei der Abfassung von Experimentalarbeiten die Beschreibung der apparativen Einrichtung

zu beschränken. Häufig werden Einzelheiten nur angedeutet, wichtige Kunstgriffe nicht mitgeteilt. Das hat in vielen Fällen zur Folge, daß jemand, der etwa die gedachten Versuche wiederholen oder Ähnliches ausführen möchte, Mißerfolge hat oder lange Zeit mit Probieren verschwendet. Auf dem Röntgengebiet speziell liegt eine weitere Erschwerung in der Auswertung, deren Technik man nicht leicht aus den Originalarbeiten erlernen kann. Aber gerade auf diesem Gebiet sind durch das Marksche Buch die Schwierigkeiten beider Art beseitigt. Sein Verfasser hat sich hier seit einer Reihe von Jahren erfolgreich betätigt, er verfügt über einen reichen Schatz von erprobten Erfahrungen, die dem Leser zu übermitteln das Ziel war, das Mark bei der Niederschrift des Buches vor Augen hatte. Sah er doch seine eigentliche Aufgabe darin, besonders „dem Anfänger das Einarbeiten in die praktische und theoretische Beherrschung zu erleichtern, ihm durch Ratschläge Mühe zu ersparen oder ihn vor den vielen kleinen Mißerfolgen zu bewahren, die das Experimentieren nun einmal mit sich bringt." Mark hat seine Aufgabe so restlos gelöst, daß der Fernerstehende wie der Fachmann sein Buch nicht wird missen können, zumal es eine Sammlung von Tabellen enthält, die kein Arbeiter auf dem Röntgengebiet entbehren kann und sich früher aus verschiedenen Werken zusammensuchen mußte. Nichts vermag besser das Bestreben des Verfassers zu kennzeichnen, ein Buch ganz für die Praxis zu schreiben, als die Tatsache, daß er dem Text ein Verzeichnis der wichtigsten (über 40) Tabellen voranstellt.

Das Buch gliedert sich im wesentlichen in drei große Abschnitte. Der erste von rund 100 Seiten befaßt sich mit der Herstellung einer betriebssicheren und intensiven Röntgenlichtquelle. Nach einer kurzen einführenden Darstellung der Grundversuche und besonders wissenswerter Eigenschaften der Röntgenstrahlung werden die Hochspannungsapparate (vom Induktor bis zum modernen Hochspannungsgleichrichter), dann Röntgenröhren aller Art (einschließlich Nebeneinrichtungen wie Pumpen, Ventilen usw.) eingehend besprochen. Der zweite Hauptabschnitt, ebenfalls 100 Seiten stark, behandelt die Spektroskopie der Röntgenstrahlen. Einleitend wird über Eigenschaften der Strahlung wie Zerstreuung, Absorption und Polarisation berichtet und Vorläufiges über Interferenzen auseinandergesetzt. Es folgen Kapitel über Emissions-, Absorptions- und kontinuierliche Spektren, über Spektralapparate und spektralanalytische Methoden. Der dritte Hauptteil von 230 Seiten ist der Kristallstrukturanalyse gewidmet. Zunächst (75 S.) wird der Leser mit kristallographischen Grundbegriffen einschließlich darstellenden Methoden vertraut gemacht. Der 2. Unterteil (35 S.) vermittelt die wichtigsten Tatsachen der Wellenoptik, das Zustandekommen der Interferenzen. Der 3. Unterteil (120 S.) führt in den Kern des Problems: Durchführung von Kristallstrukturanalysen. Dieser Abschnitt bringt zunächst den allgemeinen Gang der Untersuchung, weiter die Methoden zur Bestimmung des Elementarkörpers und der Raumgruppe und schließt mit einem Ergänzungskapitel über Aufnahmevorrichtungen und Hilfsapparate. Als Abschluß des dritten Hauptteils finden sich Erörterungen über Intensität und chemisch-physikalische Schlußfolgerungen aus der Strukturanalyse. Ein kürzerer vierter Hauptabschnitt behandelt die Bestimmung von Kristallitanordnungen und Teilchengrößen mit Röntgenstrahlen. Den Schluß des Buches bilden Tabellen und ein wohlgeordneter und vollständiger Literaturnachweis. Ein 10 Seiten umfassendes Sachregister verleiht dem Buch den Charakter eines Nachschlagewerkes.

Die Besprechung würde unvollständig sein, wenn nicht noch hingewiesen würde auf die allenthalben eingestreuten genauen Vorschriften, Kunstgriffe, Warnungen und Rezepte, nicht nur von Kitten und ähnlichem, sondern auch, wie man vorläufig ohne genaue Kenntnis Diagramme auswerten kann. Im Vorwort findet sich sogar eine Diätvorschrift für Anfänger, die im Hinblick auf die Fülle des Gebotenen sicher am Platz ist.

Der Verlag hat das stattliche Werk hervorragend ausgestattet. Es kann allen denen, die sich mit Röntgendingen zu befassen haben, nicht angelegentlich genug empfohlen werden.

*P. Knipping.*

Nachdruck verboten.

Verantwortlich für die Redaktion: Oberregierungsrat Professor Dr. F. Göpel in Charlottenburg.
Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig

# Zeitschrift für Instrumentenkunde.

*Kuratorium:*

Prof. Dr. E. **Kohlschütter** in Potsdam, Vorsitzender, Prof. Dr. R. **Straubel** in Jena,
Prof. Dr. F. **Weidert** in Berlin-Zehlendorf, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat i. R. Prof. Dr. F. **Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

50. Jahrgang. **Juni 1930.** Sechstes Heft.

## Die Tätigkeit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt im Jahre 1929.

(Schluß von S. 308.)

### Abteilung III.

*125. Normalmetall für die internationale Temperaturskala*[1].

Im Anschluß an einen Briefwechsel zwischen dem *Bureau of Standards* und der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt wurde die Firma Schering-Kahlbaum in Berlin-Adlershof veranlaßt, eine größere Menge (ca. 50 kg) Antimon gleichartiger Beschaffenheit und hoher Reinheit, das als Normalmetall für die internationale Temperaturskala dienen soll, unter Aufsicht der Reichsanstalt herzustellen. Von diesem Metall haben bisher außer den beiden genannten Staatsinstituten noch das *National Physical Laboratory* in London und das *Laboratoire d'Essais* in Paris Proben für Schmelzpunktsbestimmungen bezogen (25 kg des Normalmetalls sind noch verfügbar). Die im chemischen Laboratorium der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt ausgeführte Analyse ergab, daß die Gesamtmenge der Verunreinigungen weniger als 0,04% betrug. Der Erstarrungspunkt des Metalls wurde zu 630,48° bestimmt.

*126. Internationaler Austausch von Temperaturmeßgeräten*[2].

Die beiden für den internationalen Austausch von der Reichsanstalt hergestellten und geeichten Platinwiderstandsthermometer sind dem *National Physical Laboratory* übersandt worden. Über das Ergebnis der dortigen Messungen liegt noch kein Bericht vor.

Die dem *Bureau of Standards* im Berichtsjahr 1928 zugeleiteten Thermoelemente *D* 3024 und *D* 3026 aus Platin und Platin-Rhodium sind dort inzwischen zugleich mit den Thermoelementen des *National Physical Laboratory* und denen des *Bureau of Standards* an den vereinbarten Fixpunkten geeicht worden. In der folgenden Tabelle sind die bisherigen Ergebnisse, soweit es sich um die Thermoelemente der Reichsanstalt handelt, zusammengestellt:

| Erstarrungs-Temperatur von | Mikrovolt | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | *D* 3024 gemessen in | | | *D* 3026 gemessen in | | |
| | P.T.R. | B.o.St. | $\Delta$ | P.T.R. | B.o.St. | $\Delta$ |
| Zink . . . . . . . | 3422,5 | 3423,7 | − 1,2 | 3422,1 | 3423,8 | − 1,7 |
| Antimon . . . . . | 5511,9 | 5512,4 | − 0,5 | 5511,3 | 5512,4 | − 1,1 |
| Silber. . . . . . . | 9081,6 | 9075,5 | + 6,1 | 9080,2 | 9075,7 | + 4,5 |
| Gold . . . . . . . | 10256 | 10256,0 | 0,0 | 10257 | 10257,3 | − 0,3 |

Für den Vergleich der optischen Temperaturskalen der Reichsanstalt und derjenigen der *General Electric Comp.* in Cleveland wurden vier Wolfram-Bandlampen der *General Electric Comp.* im Licht

[1] Otto, Moser. [2] Henning, Tingwaldt, Moser.

des Rotfilters bis zur schwarzen Temperatur von 2700° absolut geeicht. Bei drei dieser Lampen zeigte sich die Erscheinung, daß deren Helligkeiten bei vollkommen konstant gehaltener Heizstromstärke deutlich wahrnehmbaren Schwankungen unterworfen waren. Bei der vierten Lampe konnten diese Schwankungen nicht beobachtet werden. Über die entsprechenden Messungen der *General Electric Comp.* liegt bisher noch keine Mitteilung vor.

*127. Internationale Wasserdampftafel*[1].

Da die in den verschiedenen Ländern benutzten Dampftafeln, nach denen man sich bei Lieferverträgen für Dampf-Kraftanlagen richtet, erhebliche Unterschiede aufweisen, lud die *British Electrical and Allied Industries Research Association* die an der Dampfforschung in Europa und Amerika hauptsächlich beteiligten Experimentatoren und Organisatoren zu einer internationalen Dampftafelkonferenz ein, die unter Teilnahme der Reichsanstalt in der zweiten Juliwoche in London stattfand. Auf dieser Konferenz wurden für 61 über das Sättigungs- und Überhitzungsgebiet verteilte Punkte Werte des spezifischen Volumens und des Wärmeinhaltes nebst einer der Unsicherheit jeden Wertes entsprechenden Toleranz zu einer internationalen „Rahmentafel" zusammengefaßt, deren Name besagen soll, daß zwar die Hauptumrisse einer internationalen Dampftafel, aber noch nicht alle Einzelheiten festgelegt wurden.

Für das praktisch besonders wichtige Gebiet höherer Drucke konnte die Reichsanstalt grundlegende Werte des Sättigungsdruckes, der Verdampfungswärme und des nach Clausius-Clapeyron berechneten Sättigungsvolumens zu dieser Tafel beisteuern.

Als Maßsystem für die Tafel wurde das metrische System gewählt, als Wärmeeinheit das Wärmeäquivalent des 860. Teils einer internationalen Kilowattstunde zugrundegelegt. Diese Wärmeeinheit, für die der Name „Internationale Kilokalorie" von der Konferenz vorgeschlagen wird, ist für Deutschland bereits durch das Gesetz vom 7. August 1924 festgelegt und hiernach einer Kilokalorie von 15° gleichzuerachten.

Die internationale Rahmentafel nebst ausführlichen Erläuterungen ist veröffentlicht[2].

*128. Internationale Vergleichung von Zähigkeitsmessungen*[3].

Die Ergebnisse der an der Reichsanstalt mit den 4 Normalölen des *Bureau of Standards* (vgl. Bericht 1928, S. 55) durchgeführten Vergleichsmessungen stimmten bei zwei zäheren Ölen auf etwa ± 0,5% mit den Angaben des *Bureau of Standards* überein, während die Messungen an den beiden leichten Ölen Unterschiede bis zu 5% ergaben. Da es nicht ausgeschlossen ist, daß die Ölproben sich in den Versandgefäßen verändert haben, werden kleine Mengen davon zurückgeschickt, um im *Bureau of Standards* noch einmal gemessen zu werden.

Um eine zuverlässigere Vergleichsgrundlage zu gewinnen, erscheint es erwünscht, Viskosimeter auszutauschen, deren Apparatekonstanten in den beiden Staatslaboratorien bestimmt werden. Auch bezüglich der internationalen Umrechnung der empirischen Zähigkeitsmaße (nach Engler, Redwood, Saybolt), die im Ölhandel noch ausschließlich im Gebrauch sind, wird ein Übereinkommen angestrebt.

*129. Neigung der pv-Isothermen von Gasen bei kleinen Drucken*[4].

Die endgültig erzielten Mittelwerte für die Isothermen-Neigungen der Gase $K_0 \cdot 10^5 = \frac{1}{pv} \frac{d(pv)}{dp} \cdot 10^5$ bei $t = 0^0$ sind folgende (Druckeinheit 1 m Hg):

| Beobachter | He | $H_2$ | Ne | $N_2$ | Ar | $O_2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Heuse und Otto (niedrige Drucke) . | 69 | 76 | 63 | − 63 | − 124 | − 128 |
| Otto (hohe Drucke) . . . . . . . | 69 | 82 | 64 | − 62 | − 129 | − 130 |

Entsprechend dem durch die Beobachtungen sichergestellten geradlinigen Verlauf der Isothermen gelten diese Werte mindestens in dem Druckbereich von 0 bis 1,5 m Hg.

---

[1] Jakob.

[2] Rahmentafel für Wasserdampf nebst Erläuterungen. Beschlüsse der Internationalen Dampftafel-Konferenz in London. *Zeitschr. d. Ver. d. Ing.* **73**. *1856. 1929.*

[3] Erk. [4] Heuse, Otto.

*130. Ausdehnungs- und Spannungskoeffizienten von Gasen*[1].

Mit der schon früher beschriebenen Anordnung (Tätigkeitsbericht für 1928, S. 47) wurden die [essungen der Ausdehnungs- und Spannungskoeffizienten der in Gasthermometern benutzten Gase ı Ende geführt. Die Ergebnisse an Helium, Wasserstoff und Stickstoff sind veröffentlicht worden \nh. Nr. 85). Inzwischen wurde das Beobachtungsmaterial durch Messungen am Neon vervoll- ändigt. Unter Benutzung bekannter thermodynamischer eziehungen und unter Zuhilfenahme der Isothermen- eigungen bei 0⁰ und 100⁰ ließen sich die Grenzwerte $\gamma$ ɜr Ausdehnungs- und Spannungskoeffizienten für den ruck 0 berechnen. Die Ergebnisse sind in der neben- ehenden Tabelle zusammengestellt.

| Gas | $\gamma \cdot 10^7$ aus $\alpha$ | $\gamma \cdot 10^7$ aus $\beta$ |
|---|---|---|
| He . . . . | 36607,2 | 36608,6 |
| $H_2$ . . . . | 36611,0 | 36609,6 |
| $N_2$ . . . . | 36609,3 | 36605,9 |
| Ne . . . . | 36612,2 | 36608,6 |
| Mittel: | 36609,9 | 36608,2 |
| Gesamtmittel: | 36609,0 | |

Danach beträgt die absolute Temperatur des Eis- unktes:

$$T_0 = \frac{1}{\gamma} = 273{,}16^0 \text{ abs.}$$

Im Jahre 1921 gaben **Henning** und **Heuse** statt dessen die Werte $\gamma = 0{,}0036604$ und $'_0 = 273{,}20^0$ abs. an. In Ermangelung sicherer Werte für die Neigung $K$ der Gasisothermen leiteten e den Grenzwert $\gamma$ durch Extrapolation der Ausdehnungs- und Spannungskoeffizienten auf den ruck 0 ab. Bedient man sich dagegen der gleichen Berechnungsweise wie bei den neuen Versuchen, ) erhält man statt dessen $\gamma = 0{,}0036607$ bzw. $T_0 = 273{,}17^0$ abs., allerdings mit weniger guter Über- nstimmung der Einzelwerte als in der vorstehend angegebenen Tabelle.

*131. Gasthermometrische Messungen unterhalb 0⁰*[1].

Da sich gezeigt hat, daß die für die Bestimmung der Ausdehnungs- und Spannungskoeffizienten ɜr Gase benutzte Versuchsanordnung mit durch Spitzen gegebenen festen Druckintervallen einen ohen Grad von Genauigkeit besitzt, so sind Vorbereitungen getroffen, um auf Grund derselben [ethode die wichtigsten thermometrischen Fixpunkte unterhalb 0⁰ fundamental neu zu bestimmen.

*132. Die Siedepunkte des Wasserstoffs und des Stickstoffs als thermometrische Festpunkte*[2].

Die Messungen von **Eucken**, **Hiller**, **Bonhoeffer** und **Harteck** haben gezeigt, daß der ge- öhnliche Wasserstoff entsprechend den Aussagen der Wellenmechanik ein Gemisch aus Ortho- und arawasserstoff darstellt, das sich bei tiefen Temperaturen an Parawasserstoff anreichert. Da der ara-$H_2$ bei tieferen Temperaturen siedet als der Ortho- bzw. normale Wasserstoff, so erschien ne Untersuchung nötig, ob der gewöhnliche Wasserstoffsiedepunkt als Festpunkt der Temperatur- ɛala weiterhin verwendbar bleibt, oder ob es vielleicht von Vorteil ist, den Siedepunkt des Para- asserstoffs als Festpunkt einzuführen. Zunächst wurde die Differenz der Siedepunkte zweier ver- ːhiedener Gemische gemessen, die dem Gleichgewicht bei Zimmertemperatur und darüber („Normal- asserstoff") bzw. dem Gleichgewicht bei der normalen Siedetemperatur des Wasserstoffes entsprechen. ʹie zweite Mischung wurde durch Adsorption von gewöhnlichem Wasserstoff an Kohle hergestellt; as gleiche Gas erhält man, wenn man die Kohle durch Chabasit ersetzt, so daß die Umwandlung ahrscheinlich nur eine Folge der Verdichtung des Gases darstellt.

Bei den Messungen tauchten zwei Dampfdruckthermometer mit Normal-$H_2$- bzw. Para-$H_2$- üllung in ein gemeinsames Wasserstoffbad. Außer den absoluten Dampfdrucken konnte ihre Differenz nmittelbar an einem Differentialmanometer abgelesen werden. Die Enden der beiden Thermometer urden mittels Quecksilber in einem gemeinsamen Eisenklotz eingefroren, der von der Badflüssigkeit mgeben war. Die Druckschwankungen der Tensionsthermometer wurden dadurch vollständig zum erschwinden gebracht, daß ihre Schenkel an den Stellen, wo sie aus der Badflüssigkeit herausragten nd wo infolge der Verdampfung leicht Temperaturerniedrigungen eintreten, mit Vakuummänteln mgeben wurden. In Übereinstimmung mit **Bonhoeffer** und **Harteck** wurde festgestellt, daß der arawasserstoff 0,12⁰ tiefer siedet als der normale. Weiter wurde gefunden, daß der Normalwasser- ɔoff im Dampfdruckthermometer schon nach einer Kondensation merkliche Mengen Para-$H_2$ ent- ält. Es ergab sich als zweckmäßig, in der Glasfeder, die das Manometer mit dem Kondensationskölb- hen verbindet, ca. 0,5 g Pt-Mohr einzuschließen, über das der Wasserstoff strömen muß, ehe er kon- ensiert. Selbst reiner Para-$H_2$ wird auf diese Weise schnell in normalen Wasserstoff zurückver- andelt. Die Siedetemperatur des normalen Wasserstoffs wird dann mit Sicherheit richtig angezeigt,

[1] Heuse, Otto. [2] Henning, Justi.

wenn zwei kurz aufeinander folgende Kondensationen desselben Gases bei derselben Temperatur den gleichen Dampfdruck ergeben. Für den normalen Siedepunkt des nach dieser Methode behandelten Wasserstoffs ergab sich mit Hilfe der früher fundamental an das Gasthermometer angeschlossenen Platinthermometer dieselbe Temperatur wie bei den Messungen vom Jahre 1924. Es erwies sich als unzweckmäßig, den Siedepunkt des Parawasserstoffs als Fixpunkt zu benutzen, weil sich der Para-$H_2$ bei Zimmertemperatur im Tensionsthermometer zu schnell zurückverwandelt; Kohlestückchen, die in das Kondensationskölbchen gebracht wurden, konnten den Para-$H_2$ erst nach vielen Stunden vollständig anreichern.

Da auch der Stickstoff sich spektroskopisch als Gemisch erweist, so besteht der Verdacht, daß auch sein Siedepunkt nicht ohne weiteres als Festpunkt zu benutzen ist. Die Effekte sind aber als minimal zu erwarten, 1. weil das Trägheitsmoment des Moleküls sehr groß (ca. 30mal größer als bei $H_2$) und das Rotationsquantum entsprechend klein ist, 2. weil die Siedetemperatur verhältnismäßig hoch liegt und 3. weil aus dem Ramanspektrum des $N_2$ ein Gehalt von 67 % Para-Molekülen im normalen Gemisch folgt (bei $H_2$ nur 25 %), so daß eine sehr große Anreicherung nicht mehr möglich ist. Die ersten Dampfdruckmessungen ließen keinen meßbaren Unterschied des normalen Stickstoffs erkennen gegen solchen, der in Kohle bei 20,4° adsorbiert worden war. Hingegen unterschied sich Stickstoff, der bei dieser Temperatur verfestigt worden war, wobei er, wie seine spez. Wärme und sein Spektrum zeigen, entsprechend den Para-Molekülen auf die Rotationsquantenlaufzahl 0 sinkt. Die Messungen sollen fortgesetzt werden.

*133. Widerstandsthermometer bis 1100°*[1].

Die Versuche wurden mit den Widerstandsthermometern $K_1$ und $K_2$ ausgeführt, die schon früher (vgl. Tätigkeitsbericht für 1928, S. 48) bis 1100° benutzt worden waren und bei denen ein 0,5 mm starker Meßdraht aus Platin auf ein mit Zähnen versehenes Porzellankreuz in der üblichen Weise gewickelt war. Es wurde ferner ein drittes Platinthermometer ($K_3$) mit etwas veränderter Konstruktion hergestellt, bei dem die bifilar gewickelte Spule eines 0,6 mm starken Platinmeßdrahtes nur an ihren Enden festgehalten wurde, so daß sie sonst nirgends mit dem Porzellan in Berührung kam.

Es zeigten sich zunächst bei den 3 Thermometern nach jeder Erwärmung über 1000° Änderungen des Eispunktwiderstandes $R_0$, die zwar 0,01° oft überschritten, aber fast stets unterhalb 0,03° blieben. Es wird angenommen, daß sie durch Strukturänderungen des Platindrahtes verursacht werden. Durch erneute Alterung der Thermometer bei geeigneten Temperaturen konnten diese Änderungen z. T. rückgängig gemacht werden. Parallel mit den Änderungen von $R_0$ ging stets eine Änderung des Temperaturkoeffizienten des elektrischen Widerstandes, und zwar derart, daß bei Zunahme von $R_0$ der Temperaturkoeffizient kleiner wurde und umgekehrt. Die nach der quadratischen Beziehung zwischen dem Widerstand $R$ und der Temperatur $t$ berechneten Temperaturen für den Golderstarrungspunkt stimmten aus diesem Grunde bei demselben Thermometer nur dann auf 0,1° miteinander überein, wenn kurz nach dem Goldpunkt auch die Schwefel-, Dampf- und Eispunkte, die zur Bestimmung der Konstanten in der Formel dienten, gemessen wurden, so daß auch bei diesen dasselbe $R_0$ vorhanden war. Auf diese Weise wurden mit den drei Thermometern folgende Temperaturen $t_{Au}$ für den Golderstarrungspunkt gefunden:

| Thermometer | $K_1$ | $K_2$ | $K_3$ |
|---|---|---|---|
| $t_{Au}$ . . . . . . | 1062,0° | 1061,9° | 1062,5° |

Der um 0,5° höhere Wert für $t_{Au}$ bei Thermometer $K_3$ kann der besseren Isolation dieses Thermometers zugeschrieben werden. Die gute Übereinstimmung der $t_{Au}$-Werte mit dem für den Goldschmelzpunkt auf Grund gasthermometrischer Messungen allgemein angenommenen Wert 1063° zeigt, daß bei den untersuchten Thermometern die einfache quadratische Formel bis zum Goldschmelzpunkt fast vollkommen Gültigkeit hat.

Die Versuche, welche die Möglichkeit zeigen, das Thermoelement in dem Temperaturgebiet von 660° bis 1063° durch das genauere Platinwiderstandsthermometer zu ersetzen, werden fortgesetzt.

[1] Moser.

*134. Pyrometrische Normale*[1].

Bei einigen der zu Prüfzwecken verwendeten Normalpyrometerlampen traten gelegentlich in lerselben Weise, wie schon früher beobachtet war, Schwankungen der Helligkeit bei gleichbleibender Stromstärke auf. Es sprechen Gründe dafür, daß allein schon das Umlegen der im Pyrometer vertikal ıngeordneten Lampen, vielleicht durch geringe Verlagerung des Fadens, Ursache der Schwankungen st. Die unzuverlässigen Normallampen wurden durch vier neue ersetzt. Eine günstige Gelegenheit ür die Auswahl geeigneter Lampen bot eine systematische Untersuchung, die auf Wunsch der Inlustrie ausgeführt wurde, um festzustellen, ob die obere Gebrauchsgrenze, die vor einiger Zeit auf 1400° ıerabgesetzt war, nicht wieder auf 1500° erhöht werden könne. Die Lampen wurden Dauerbelastungen ›ei 1600° unterworfen und in der Weise geprüft, daß der Widerstand bei bestimmter Strombelastung ınd die Einstellung vor dem schwarzen Körper gemessen wurden. Es ergab sich, daß bei diesem (nach Angabe der Firma verbesserten) Typ auch bei Benutzung bis 1500° die auftretenden Änderungen in näßigen Grenzen (3 bis 4°) blieben. Von diesen Lampen wurden zwei als Normale der Reichsanstalt n Gebrauch genommen. Gleichzeitig wurden zwei weitere Lampen mit planparallelen Wänden, die nzwischen beschafft waren, an den schwarzen Körper angeschlossen. Weiterhin ist die Beschaffung on Lampen anderen Ursprunges, nämlich aus Holland und Amerika, in die Wege geleitet.

*135. Photoelektrische Pyrometer*[1].

Für die photoelektrische Vergleichung verschiedener Strahler mit dem schwarzen Körper sind nehrere Methoden in behelfsmäßiger Anordnung ausgeprobt worden. Angestrebt wurde dabei, die Photozelle in einer Kompensationsschaltung mit dem Elektrometer als Nullinstrument nur zu Differenznessungen zu verwenden. Als brauchbarste Methode ergab sich die „Ablaufmethode" nach R. Jaeger 1928) mit dem Stromnormal als ablaufregulierendem Organ. Die anfänglich geplante Benutzung eines Elektronenrohrs an Stelle des Stromnormals erwies sich zwar auch als geeignet, bot aber bei größerer Kompliziertheit keine wesentlichen Vorteile.

Nach Vereinbarung mit der Studiengesellschaft für elektrische Beleuchtung und dem nstitut für Strahlungsforschung sollen die Messungen auch der Aufgabe dienen, eine auf die Strahlung des schwarzen Körpers bestimmter Temperatur gegründete *U*-*V*-Einheit zu schaffen.

*136. Chrom-Schmelzpunkt*[2].

Die Versuche zur Ermittelung des Chrom-Schmelzpunktes wurden fortgesetzt. An Stelle der isherigen Versuche, Chrom im Tiegel in einem Vakuumofen zu schmelzen, wurde, um zu vermeiden, aß das Tiegelmaterial das Chrom verunreinigte, Chrom in Stäbchenform im Vakuum durch den elekrischen Strom bis zum Durchschmelzen erhitzt. Zu dem Zweck wurde reinstes Chrompulver der Firma e Haën, Hannover, in einer Form zu Stäben gepreßt, die durch Glühen im Vakuum bei etwa 1100° esintert und so weit verfestigt wurden, daß in der Stabmitte ein kleines Loch gebohrt werden konnte. Die Stäbe wurden dann im Vakuum bei einem Druck von etwa $10^{-5}$ mm Hg elektrisch geglüht und die Temperatur der Stabmitte durch Messung der Helligkeit in der kleinen Öffnung, welche als schwarzer Körper wirkte, mit einem Glühfadenpyrometer ermittelt. Bei einer gewissen konstant bleibenden Ieizstromstärke stieg die Temperatur des Stabes infolge starker Verdampfung des Chroms erst langım und dann schneller bis zum Durchschmelzen an. Der zeitliche Temperaturanstieg konnte pyroıetrisch bis zum Schmelzpunkt verfolgt werden. Die Beobachtungen lieferten für die Schmelztempeatur des Chroms den Wert $1765^0 \pm 10^0$. Es wurde auch versucht, aus Chrom anderen Ursprunges, as in Form größerer Stücke geliefert wurde, Stäbe herzustellen und im Vakuum zu schmelzen. Hierzu urden die Chromstücke im Mörser zerrieben, und dann wurde ebenso verfahren wie mit dem Chromulver der Firma de Haën. Der Temperaturanstieg kurz vor dem Durchschmelzen erfolgte hier aber o rasch, daß genauere Messungen nicht ausgeführt werden konnten.

*137. Absorption der Kohlensäure bei höheren Temperaturen*[2].

Die Absorptionsbande der Kohlensäure bei 2,7 $\mu$ wurde in einer Anordnung mit Prisma und Rubensschem Mikroradiometer im Temperaturgebiet zwischen 20 und 900° untersucht. Wenn die rismatische Zerlegung die Aufspaltung dieser Rotationsschwingungsbande in einzelne Linien auch icht andeutungsweise ermöglichte (diese Aufspaltung ist auch nicht in den mit einem Gitter großen uflösungsvermögens angestellten Versuchen Barkers erreicht worden), so lieferte der Verlauf der ei höheren Temperaturen erhaltenen Absorptionskurven doch deutlich wahrnehmbare Unterschiede egen die bei Zimmertemperatur erhaltenen Kurven. Die Bande bei 2,7 $\mu$ ist bekanntlich ein Doppeldublett. In der kurzwelligeren Doppelbande wird die Lage des ersten Maximums bei Temperatur-

[1] Hoffmann. [2] Tingwaldt.

erhöhung nicht merklich geändert. Das zweite Maximum verschiebt sich nach längeren Wellenlängen im Sinne der gaskinetischen Formel für den Frequenzabstand $\Delta\nu$ zweier Maxima einer Doppelbande:

$$\Delta\nu = \frac{1}{\pi}\sqrt{\frac{kT}{I}},$$

in der $I$ das Trägheitsmoment bedeutet. Die zweite Doppelbande erweitert sich bei Temperaturerhöhung beträchtlich nach längeren Wellenlängen. Die Untersuchung wird fortgesetzt.

*138. Molekularvolumen von chemischen Verbindungen* [1].

Die Bestimmung der Molekularvolumen von chemischen Verbindungen bei tiefer Temperatur wurde durch die von Stickoxyd (19,1 ccm/Mol bei 20,4° abs.) und Stickoxydul (27,2 ccm/Mol bei 20,4° abs.) ergänzt. Die Untersuchung ist abgeschlossen. Die Veröffentlichung der Ergebnisse steht bevor.

*139. Umwandlungspunkt von Methan* [1].

Eine Umwandlung des Methans, die von Clusius bei Messungen der spezifischen Wärmen bemerkt worden ist, konnte auch dilatometrisch zwischen 20,45 und 20,15° abs. festgestellt werden. Bei den Messungen wurde in einem Pyknometer die Ausdehnung von etwa 3,5 cm³ festem Methan bestimmt, wobei etwa 1 cm³ flüssiger Wasserstoff, dessen Ausdehnung gesondert bestimmt war, als Sperrflüssigkeit benutzt wurde. Die für festes Methan gefundenen Volumwerte sind in Abhängigkeit von der absoluten Temperatur in Abb. 20 dargestellt.

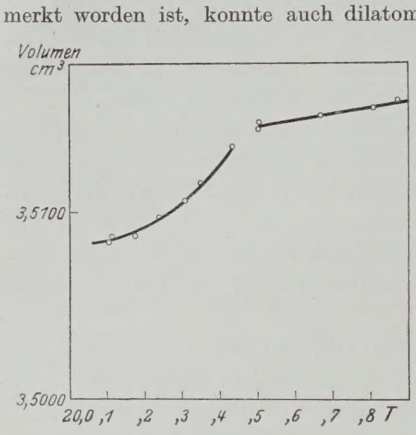



Abb. 20.

*140. Schwingungswärme einiger Gase und des Wasserdampfes* [2].

Die von Holborn, Austin und Henning in den Jahren 1905 und 1907 zwischen 20° und 1350° gemessenen spezifischen Wärmen von Stickstoff, Sauerstoff, Wasserdampf und Kohlensäure weisen einen beträchtlichen Anstieg mit der Temperatur auf, der damals physikalisch noch nicht gedeutet werden konnte und daher in den betreffenden Veröffentlichungen und den Wärmetabellen der P.T.R. durch empirische Funktionen dargestellt wurde. Die damaligen Meßergebnisse sind nunmehr mit den Werten verglichen worden, die die neuere Theorie der Schwingungswärme liefert (vgl. Tabelle 1 und 2), wobei die charakteristischen Temperaturen vorzugsweise aus den Ramanspektren berechnet wurden.

Tabelle 1. Differenz der beob.-ber. Werte für $c_{p20}^{t}$ in %.

| $t$ | atm. $N_2$ | Luft / atm. $N_2$ | $O_2$ + 9,5% $N_2$ / atm. $N_2$ | $CO_2$ / atm. $N_2$ |
|---|---|---|---|---|
| 245° | — | + 1,0 | + 0,8 | — 0,2 |
| 440° | — 3,8 | — 0,5 | — 0,1 | — 1,3 |
| 630° | — 3,8 | + 0,2 | + 0,1 | — 1,2 |
| 800° | — 3,8 | — 1,2 | — | — 1,7 |

Tabelle 2. Differenz der beob.-ber. Werte für $c_{p110}^{t}$ in %.

| $t$ | $H_2O$ / Luft | $t$ | atm. $N_2$ | $H_2O$ / atm. $N_2$ | $CO_2$ / atm. $N_2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 270° | + 0,7 | 843 | — 3,8 | — 1,2 | — 2,4 |
| 440° | + 1,5 | 1000 | — 2,1 | — | — 1,7 |
| 620° | + 0,4 | 1182 | — 3,9 | — 0,2 | — 0,8 |
| 820° | + 2,3 | 1342 | — 3,5 | + 0,9 | — 1,8 |

Bei dem Vergleich ist darauf Rücksicht genommen, daß das Verhältnis der spezifischen Wärmen zweier Gase unter sonst gleichen Bedingungen genauer ermittelt werden kann als die absoluten Beträge. Die Unterschiede zwischen der Beobachtung und der Rechnung liegen für die Verhältniszahlen von Sauerstoff, Luft und Wasserdampf zu atmosphärischem Stickstoff (atm. $N_2$) innerhalb der Grenzen der Beobachtungsfehler, für die Verhältniszahlen von Kohlensäure zu atm. $N_2$ sind sie kaum größer, aber systematisch. Die absoluten Beträge für Stickstoff ergeben sich nach der Rechnung um etwa 3,5% größer als nach den Beobachtungen. Es sind neue

[1] Heuse. [2] Henning, Justi.

Versuche geplant, um zu entscheiden, wie weit die noch verbleibenden Unterschiede der Beobachtung oder der Theorie zur Last zu legen sind.

*141. Messungen latenter Wärmen in tiefer Temperatur*[1].

Ein Kalorimeter zur Messung von Umwandlungstemperaturen und latenten Wärmen in dem Gebiet zwischen 80⁰ und 20⁰ abs. wurde fertiggestellt. Es sind zunächst Messungen an Methan und Sauerstoff geplant.

*142. Verdampfungswärme des Wassers bei höheren Drucken*[2].

Die Versuche zwischen 210⁰ und 250⁰ C (19,45 bis 40,55 kg/cm²) sind inzwischen veröffentlicht worden (Anh. Nr. 90).

Die Arbeit wurde zu höheren Drucken fortgesetzt und konnte im Berichtjahr bis zu 310⁰ C und 100,7 kg/cm² Druck durchgeführt werden. Die ganze Versuchsanordnung wurde nahezu unverändert beibehalten und bewährte sich gut. Die Isolierung wurde noch etwas verbessert, so daß jetzt das Siedegefäß ganz von Metallwänden gleicher Temperatur eingeschlossen ist.

Bei den Messungen mit höherem Druck mußte nachgeprüft werden, ob der beim Abzapfen des Kondensates infolge der Druckentlastung freiwerdende Stickstoff noch Wasser mit sich reiße, das dann für die Mengenmessung verloren wäre. Es zeigte sich unter verschiedenen, besonders ungünstig gewählten Bedingungen, daß nur ganz geringe Wassermengen mitgerissen werden, deren Verlust gegenüber den sonstigen Fehlerquellen keine Rolle spielt.

Der schon früher beobachtete Unterschied zwischen der Temperatur des Wassers und der des Dampfes wurde erneut durch besondere Versuche mit vor- und nachher sorgfältig geprüften Thermometern zu 0,1 bis 0,2⁰ festgestellt. Da auch Versuche über eine etwa vorhandene Wärmeableitung negativ ausfielen, muß dieser Temperaturunterschied für wirklich gehalten werden.

Im Berichtsjahr wurden insgesamt 30 Versuchsreihen durchgeführt, die folgende Werte für die Verdampfungswärme des Wassers und des (nach Clausius-Clapeyron berechneten) spezifischen Volumens von Sattdampf ergaben:

| Temperatur ⁰ C | Druck kg/cm² | Verdampfungswärme kcal/kg | Spez. Volumen von Sattdampf m³/kg |
|---|---|---|---|
| 270 | 56,11 | 382,1 | 0,03555 |
| 285 | 70,49 | 361,5 | 0,02778 |
| 300 | 87,63 | 334,9 | 0,02153 |
| 310 | 100,68 | 315,9 | 0,01830 |

Die Werte der Tabelle sind reine, noch nicht gegeneinander abgeglichene Beobachtungswerte, wobei die in kWh gemessenen Wärmemengen durch Multiplikation mit 860,4 in kcal umgerechnet sind.

Die Versuchsergebnisse wurden im Juli 1929 der Internationalen Dampftafelkonferenz in London (s. Ziffer 127) vorgelegt und von dieser als Unterlage für die internationalen „Rahmentafeln" verwendet.

Die von der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft und vom Verein deutscher Ingenieure unterstützte Untersuchung wird demnächst veröffentlicht werden.

*143. Wärmeleitfähigkeit von Eis*[3].

Weitere Berechnungen über den Temperatursprung an der Berührungsfläche zwischen den Eisplatten und den daran angefrorenen Kupferplatten ergaben, daß die vermuteten kleinen Hohlräume nicht allein mit Wasserdampf angefüllt sein können, sondern im wesentlichen Luft enthalten müssen. Wenn man annimmt, daß die Hohlräume bei Temperaturänderungen der Eis- und Kupferplatten geometrisch unverändert bleiben, so ergibt sich aus der beobachteten Zunahme des Temperatursprunges mit sinkender Temperatur, daß dabei die Dichte der eingeschlossenen Luft etwa infolge von Adsorption am Eis oder am Kupfer stark abgenommen haben muß.

Kontrollversuche mit Eisplatten von nur 0,1 und 0,27 mm Dicke ergaben jedoch keinen Temperatursprung. Dies macht wieder die im Tätigkeitsbericht für 1927 geäußerte Vermutung wahrscheinlicher, daß Verwerfungen der dickeren Eisplatten infolge der verschiedenen Wärmedehnung von Eis und Kupfer den Temperatursprung verursachen. Von diesen Hypothesen sind aber die Meßergebnisse unabhängig, weil das Temperaturgefälle im Eis mittels eingefrorener Thermoelemente gemessen wurde. Die Entscheidung zwischen den beiden Hypothesen muß bis zur Ausführung weiterer Versuche zurückgestellt werden.

[1] Justi. [2] Jakob, Fritz. [3] Jakob, Erk.

Ein Bericht über die Arbeit wurde auf dem 5. deutschen Physikertag in Prag erstattet und ist veröffentlicht (s. Anhang Nr. 87).

*144. Wärmeleitfähigkeit von Metallen*[1]. Bei der im vorjährigen Bericht beschriebenen Versuchseinrichtung haben die Verbindungsstellen zwischen dem Versuchsstab und den kupfernen Zuführungen infolge der starken Belastung (200 A) bei der hohen Temperatur (500°) erhebliche Schwierigkeiten bereitet. Daher sollen zunächst Stäbe untersucht werden, die so lang sind, daß sie außerhalb des Ofens unmittelbar in die Kupferbacken der Stromzuführung eingeklemmt werden können. Einen ersten solchen Stab von 1400 mm Länge aus Aluminium hat die Firma Basse & Selve in Altena freundlichst zur Verfügung gestellt.

Ferner gelang es zunächst nicht, dem Versuchsstab und dem Metallthermostaten die gewünschte axiale Temperaturverteilung aufzuzwingen. Erst die Verwendung von 5 Heizwicklungen und 4 Kühlvorrichtungen führte hier zum Ziel.

*145. Wärmeübergang bei Kondensation von Satt- und Heißdampf*[2]. Die Versuche mit dem bereits in senkrechter Anordnung benutzten Rohr (vgl. vorjährigen Bericht) in wagerechter Anordnung, ergaben einige neue Aufschlüsse über die Bedeutung der Wasserhaut für den Wärmeübergang. Qualitativ bestätigten sie im wesentlichen die am senkrechten Rohr gewonnenen Ergebnisse. Quantitativ zeigten sie, daß im allgemeinen im wagerechten Rohr die Kondensation mit besserem Wirkungsgrad erfolgt, daß aber unter gewissen Bedingungen die senkrechte Anordnung überlegen ist. Über die Arbeit wurde bei der Tagung des Ausschusses für Wärmeforschung des Vereins deutscher Ingenieure in Hannover am 20. 4. 1929 vorgetragen. Der Bericht ist veröffentlicht (Anh. Nr. 88 u. 89).

Bereits bei den Versuchen mit senkrechtem Rohr war beobachtet worden, daß die Temperatur von überhitztem Dampf längs der Rohrachse weniger sank, wenn bei sonst unveränderten Versuchsbedingungen die Rohrwand stärker gekühlt wurde. Die Messung der Temperaturverteilung im Querschnitt des Dampfstromes ergab, daß dieser bei starker Kondensation einen heißen Kern mit geringem radialen Temperaturabfall und daneben eine stark gekühlte Randschicht aufweist, während bei schwacher Kondensation die Kern- und Randströmung sich besser ausgleichen.

Dieser Unterschied in der Temperaturverteilung bei starker und schwacher Kondensation kann erklärt werden durch das Zusammenwirken der turbulenten Querbewegung und der einseitig nach außen gerichteten Strömung, die durch die Kondensation des Dampfes an der Wand entsteht. Wenn die Kondensation so stark ist, daß die einseitige Kondensationsströmung gegenüber der turbulenten Mischbewegung überwiegt, gelangen die an der Wand abgekühlten Dampfteilchen nicht mehr in die Kernströmung zurück, sondern werden an der Wand niedergeschlagen. Die Temperatur der Kernströmung wird also nur ganz wenig erniedrigt.

Durch Messungen der Geschwindigkeitsverteilung konnte diese Anschauung bestätigt werden. Die beabsichtigte weitere Untersuchung der Erscheinung eröffnet die Aussicht, durch gleichzeitige Messungen der Temperatur- und Geschwindigkeitsverteilung, sowie der Kondensationsströmung, den Turbulenzvorgang etwas näher aufklären zu können. Ein Bericht über die Untersuchung ist im Druck.

Für die Fortführung der Versuche wird z. Z. mit Unterstützung der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft und des Vereins deutscher Ingenieure eine wesentlich vergrößerte und verbesserte Versuchsanlage für eine Dampfmenge von 400 kg/h gebaut. Der erforderliche Frischdampf wird aus den Dampfkesseln der Reichsanstalt entnommen.

Da mehrfach aus den Kreisen der Zuckerindustrie Bedenken über die Verwendung von Heißdampf bei Kochern geäußert worden waren, wurden die Wärmeaustauscher der Zuckerfabrik in Stendal eingehend besichtigt, um die besonderen Betriebsbedingungen der Zuckerindustrie kennenzulernen.

*146. Druckwaage*[3]. Zur experimentellen Bestimmung des wirksamen Querschnittes der großen Druckwaage für Belastungen bis 5000 kg/cm² ist nach den Angaben des Laboratoriums in der Hauptwerkstatt eine Differentialwaage gebaut worden, mit deren Hilfe man stufenweise Druckwaagen verschiedener Meßbereiche miteinander vergleichen kann. Sie besteht aus einem in einem Zylinder beweglichen Differentialkolben, dessen oberer Querschnitt $f_1$ etwa 0,5 cm², dessen unterer Querschnitt $f_2$ etwa 0,25 cm² Fläche besitzt.

---

[1] Jakob, Erk. [2] Jakob, Erk, Eck. [3] Ebert.

Es wurde damit begonnen, eine fundamentale Bestimmung dieser Querschnitte bis zu Drucken on 500 kg/cm² durchzuführen. Dies geschieht in der üblichen Weise durch Vergleich mit anderen Druckwaagen, deren wirksamer Querschnitt bekannt ist und letzten Endes durch Anschluß an ein Quecksilbermanometer gewonnen wurde. Für diese Messungen standen drei Druckwaagen zur Verügung, deren Kolbenquerschnitte zunächst miteinander verglichen wurden.

Das Prinzip, nach dem mit der Differential-Druckwaage gearbeitet werden soll, ist kurz folgendes: Man läßt zwei Druckwaagen mit den Kolbenquerschnitten $q_1$ bzw. $q_2$ und den Belastungen $b_1$ zw. $b_2$ kg auf die beiden Seiten des Differentialkolbens wirken. Wird dann nach einer zusätzlichen Belastung des Differentialkolbens durch die Kraft $Q$ kg Gleichgewicht erzielt, so gilt die Gleichung

$$\frac{b_1}{q_1} \cdot f_1 - \frac{b_2}{q_2} \cdot f_2 = Q .$$

Vertauscht man die beiden Druckwaagen und ist das Gleichgewicht dann durch die zusätzliche Belastung $Q'$ kg wieder hergestellt, so gilt entsprechend

$$\frac{b_2}{q_2} \cdot f_1 - \frac{b_1}{q_1} \cdot f_2 = Q' .$$

Diese beiden Gleichungen gestatten, aus dem bekannten Querschnitt $q_1$ einer Druckwaage len unbekannten Querschnitt $q_2$ einer anderen Druckwaage, sowie die Querschnitte $f_1$ und $f_2$ der Differentialdruckwaage zu ermitteln, wenn man die zusätzliche Annahme macht, daß das Verhältnis $f_1/f_2$ lenselben Wert beibehält, der sich nach den Messungen unterhalb 500 kg/cm² unmittelbar ergeben hat.

*147. Temperaturkoeffizient von Manometern mit Bourdonscher Feder*[1].

Zur Kenntnis des Verhaltens von Manometern bei Temperaturänderung wurden, um Anfragen us der Technik nach dem Verhalten der jetzt gebauten Manometer zu genügen, 6 Instrumente — Stück mit einem Meßbereich von 500 kg/cm² und 3 Stück bis 50 kg/cm² — in der bereits von Wiebe[2] enutzten Apparatur untersucht. Die Ergebnisse mögen an dem Verhalten eines bestimmten Manoneters (Nr. 6413200) erläutert werden. Mittelt man die Korrektionen für die bei zu- und abnehmendem Druck gefundenen Werten, so zeigt sich, daß bei einer Temperatur von 20° die Angaben des Instrunentes im wesentlichen stimmen, daß aber bei 60° eine Korrektion vorhanden ist, die am Nullpunkt war unwesentlich ist, aber im übrigen inear mit dem Druck ansteigt. In Übereinstimmung mit einer bereits vorliegenden Theorie[3] kann der Temperatureinfluß durch wei Faktoren erklärt werden: 1. Abhängigkeit des Elastizitätsmoduls von der Temperatur, wodurch im Falle geringer Deformationen die lineare Abhängigkeit er Korrektion vom Druck erklärt ist; . Wechselwirkung zwischen der thermichen Ausdehnung der Skalen, der Bourlonschen Feder und des Übertragungsnechanismus. Dadurch wird im allgeneinen eine für alle Skalenteile nahezu leich große Verschiebung der Einstellung tattfinden.

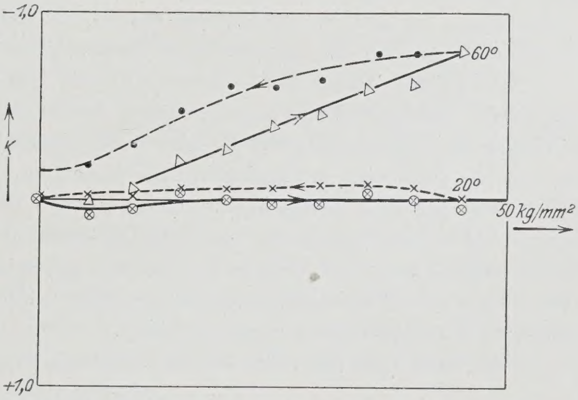



Abb. 21. Korrektionen eines Manometers bei den Temperaturen 20 und 60°.

Durch passende Konstruktion und richtige Wahl der Materialien kann erreicht werden, daß ie unter 1. und 2. genannten Einflüsse sich für einen bestimmten Punkt (den sogenannten neutralen unkt) der Skale aufheben. Dies ist im Falle des Manometers Nr. 6413200 für den Nullpunkt geschehen. bb. 21, in der die für zu- und abnehmenden Druck gefundenen Korrektionen gesondert aufgetragen ind, lehrt überdies, daß die bei gewöhnlicher Temperatur geringe elastische Nachwirkung, bei wachender Temperatur beträchtlich zunimmt. Es müßte bei geeigneter Wahl des Materials auch dieser Einfluß ausgeschaltet werden können.

[1] Ebert. [2] Wiebe, *Zeitschr. f. komprimierte und flüssige Gase 1. S. 29. 1897.*
[3] Siehe G. Klein, Dissertation Technische Hochschule. Berlin 1909. S. 69.

*148. Vakuumtechnische Untersuchungen*[1].

Es sind im Berichtsjahr einige Hochvakuumpumpen der Firma E. Leybolds Nachf. in Köln untersucht. Dabei wurde zunächst die früher verwendete Methode, die darin bestand, daß bei konstantem Volumen der Druckverlauf in Abhängigkeit von der Zeit bestimmt wird, benutzt. Später zeigte sich die Notwendigkeit, auch die Methode konstanten Druckes auszubilden, bei der der Grenzwert unter der Bedingung bestimmt wird, daß durch ein Ventil ständig Luft aus der freien Atmosphäre in den zu evakuierenden Raum strömt. Durch das freundliche Entgegenkommen der genannten Firma war es möglich, die für diese Untersuchung nötige Apparatur zu beschaffen und gebrauchsfertig herzurichten. Im Anschluß daran sind unter Weiterbildung der Methode konstanten Druckes Untersuchungen über den Strömungswiderstand von Rohren bei niedrigen Drucken begonnen.

*149. Grundlagen der Psychrometrie*[1].

Nach Beendigung der Versuche zwecks Festlegung der Dampfdrucke einiger Salzlösungen wurden die Prüfeinrichtungen nach Obermiller und Bongards für Haarhygrometer auf ihre Brauchbarkeit für den Prüfbetrieb der Reichsanstalt untersucht. Nach einigen Änderungen, besonders an der Bongardsschen Apparatur, wurden beide Einrichtungen für tauglich befunden und für die Prüfarbeit der Reichsanstalt beschafft. Beide Apparaturen sind fundamental untersucht, so daß jetzt die Prüfung von Feuchtigkeitsmessern, insbesondere von Haarhygrometern, den neuzeitlichen Forderungen entsprechend, durchgeführt werden kann. Bei dieser Gelegenheit ist auch das Verhalten der Haarhygrometer studiert. Die Ergebnisse sind veröffentlicht (s. Anh. Nr. 83). Die Untersuchungen über das Verhalten eines einzelnen Haares mit dem im vorigen Berichtsjahr erwähnten Apparat mußten wegen anderer Beobachtungen zurückgestellt werden.

*150. Zähigkeit von überhitztem Wasserdampf bei höherem Druck*[2].

Die Literatur wurde auf die Brauchbarkeit der verschiedenen Verfahren der Zähigkeitsmessung durchgesehen; im Anschluß hieran wurde ein Plan zur Durchführung neuer Messungen auf diesem Gebiet ausgearbeitet.

*151. Untersuchungen an Schmierölen*[3].

Der Ausschuß IX (Schmiermittel) des deutschen Verbandes für die Materialprüfungen der Technik, in dem auch die Reichsanstalt vertreten ist, beantragte eine systematische Untersuchung von offenen Flammpunktsprüfern als Grundlage für die Ausarbeitung von Prüfmethoden für Schiedsuntersuchungen. Die Arbeiten wurden in steter Fühlung mit dem Preußischen Materialprüfungsamt durchgeführt. Schließlich wurde durch die beteiligten Institute und Firmen ein Apparat ausgearbeitet, der noch in verschiedenen Staats- und Industrielaboratorien geprüft werden soll. Eine Veröffentlichung über die systematische Untersuchung wird vorbereitet.

Ein weiterer Antrag des Ausschusses IX gilt dem Verhalten von Ölen in der Kälte, das bisher im Handel und Betrieb meist durch Angabe des Stockpunktes charakterisiert wurde. Diese Kennzeichnung ist aber ungenügend. Es wird daher gegenwärtig ein Rotationsviskosimeter konstruiert, mit dem die Zähigkeit von Flüssigkeiten bei tiefen Temperaturen und bei verschiedenen Geschwindigkeitsgefällen gemessen werden kann. Außerdem wurde durch eine Anfrage in einigen Betrieben (u. a. bei der Reichsbahn) festgestellt, welche Zähigkeitszahl als obere Grenze für die Verwendbarkeit eines Schmiermittels unter verschiedenen Bedingungen gelten kann. Diese Ermittelungen werden fortgesetzt und sollen auch auf Ölschalter ausgedehnt werden, bei denen das Fließvermögen des als Isolator verwendeten Öles besondere Bedeutung besitzt.

*152. Prüftätigkeit des Laboratoriums für allgemeine Thermometrie und Kalorimetrie*[4].

Im Jahre 1929 (bzw. 1928) wurden folgende Gegenstände geprüft:

I. Ausdehnungsthermometer.

| | | |
|---|---|---|
| 1341 | (1732) | feine Thermometer mit Korrektionsangaben in 0,02 und 0,01° geprüft in Temperaturen bis 100°, hiervon 348 (649) Kalorimeterthermometer, |
| 2007 | (1798) | Thermometer mit Korrektionsangaben in 0,05° und mehr, geprüft in Temperaturen bis 100°, darunter 4 (2) Insolationsthermometer, |
| 76 | (112) | Siedethermometer für Höhenmessungen, |
| 296 | (289) | Beckmannsche Thermometer, |
| 315 | (286) | Tiefseethermometer, |
| 2448 | (2201) | hochgradige Thermometer, z. T. geprüft in Temperaturen bis 700°, |
| 68 | (192) | tiefgradige Thermometer, darunter 28 (27) Pentanthermometer für Temperaturen bis — 190°. |
| zusammen: 6551 | (6610) | Thermometer. |

[1] Ebert. [2] Jakob, Fritz. [3] Erk. [4] Heuse, Moser.

## II. Elektrische Thermometer.

| | | |
|---|---|---|
| 40 | (19) | Widerstandsthermometer, |
| 253 | (174) | Thermoelemente, darunter 129 (128) aus Platin-Platin-Rhodium, 2 (4) aus einer Legierung von Platinmetallen und Gold, 41 (8) aus Konstantan-Silber, 24 (0) aus Konstantan-Kupfer, 38 (15) aus Konstantan-Eisen, 15 (16) aus Nickel-Chromnickel, 4 (0) aus Kupfer-Nickel, |
| 24 | (32) | Millivoltmeter für thermoelektrische Zwecke, |
| 3 | (0) | Meßeinrichtungen für Widerstandsthermometer, |
| 4 | (0) | Proben Platindraht (Temperaturkoeffizient), |
| 1 | (0) | Probe Konstantandraht (Schmelzpunkt). |
| zusammen: 325 | (225) | |

## III. Sonstiges.

| | | |
|---|---|---|
| 3 | (2) | Thermographen, |
| 1 | (6) | Proben auf spezifische Wärme, |
| 32 | (95) | Verbrennungskalorimeter (Bestimmung des Wasserwertes auf elektrischem Wege), |
| 1 | (3) | Gaskocher, |
| 9 | (12) | Posten Legierungsringe für Schwartzkopff-Dampfkessel-Sicherungsapparate, |
| 1 | (0) | Posten Schmelzpfropfen, |
| 1 | (0) | Fernthermometer, |
| 2 | (0) | Verbrennungswärmen, |
| 1 | (0) | Schreibthermometer. |
| zusammen: 51 | (118) | |

Von den 6551 (6610) nichtärztlichen Thermometern entsprachen 325 (407) nicht den Prüfungsbestimmungen, 26 (25) gingen beschädigt ein, 46 (40) — einschließlich 21 (26) Stück freiwillig gesprungener Instrumente — wurden bei der Prüfung beschädigt; im ganzen mußten 397 (472) Thermometer, d. h. etwa 6,1% (7,1%) aller eingereichten nichtärztlichen Thermometer als unzulässig zurückgewiesen werden.

*153. Kontrolle der zugelassenen Thermometergläser*[1].

Die Glashütte Schott & Gen. in Jena sowie die Sophienhütte in Ilmenau wurden besucht, um Röhren aus den Glassorten zu entnehmen, die zur Herstellung von Fieberthermometern und beglaubigungsfähigen nicht ärztlichen Thermometern zugelassen sind. Die Prüfung, ob diese Proben diejenigen Eigenschaften besitzen, welche die Voraussetzung für die Zulassung bildeten, ist eingeleitet.

*154. Fieberthermometer*[2].

In der ersten Hälfte des Berichtsjahres waren die Eingänge von Prüfanträgen für Fieberthermometer sehr lebhaft; erst gegen Ende des Jahres wurden sie geringer. Zur Zeit sind 10 Laborantinnen mit der Prüfung von Fieberthermometern beschäftigt.

Die systematischen Untersuchungen wurden außer mit den schon früher benutzten Fieberthermometern gewöhnlicher Art noch mit solchen durchgeführt, die zum besonderen Zweck dieser Beobachtung angefertigt sind. Die Beschaffung der Instrumente hat das Thüringische Landesamt für Maß und Gewicht freundlichst übernommen. Untersucht wurden Thermometer mit und ohne Maximumvorrichtung, die am oberen Ende der Kapillare mit einer Erweiterung versehen waren, so daß sie bis 100° erhitzt werden konnten und für Alterungsversuche besonders geeignet waren. Die Maximumvorrichtung eines Teils der Thermometer, insbesondere der Stabthermometer, wurde vor und nach der Erhitzung, sowie nach längerer Lagerung im polarisierten Licht beobachtet und photographiert. Es zeigte sich, daß nur eine geringe Verschiebung der Interferenzstreifen eintrat, so daß eine wesentliche Beeinflussung der Maximumvorrichtung durch Auslösung von Spannungen kaum an-

[1] Heuse. [2] Ebert.

genommen werden kann. Die Versuchsergebnisse, die sich auch auf Schleuderversuche beziehen, werden zur Zeit gesichtet und sollen in Kürze veröffentlicht werden.

Der Entwurf zur Änderung des Gesetzes über die Prüfung und Beglaubigung von Fieberthermometern ist auch im vergangenen Berichtsjahr noch nicht vom Reichstag beraten worden.

*155. Thermometerprüfanstalten unter der technischen Aufsicht der Reichsanstalt*[1].

Übersicht über die im Kalenderjahr 1929 (bzw. 1928) zur Prüfung eingereichten Fieberthermometer.

| | P.T.R. | Thür. Landesamt für Maß und Gewicht | Anhalt. Staatsprüfamt | Summe |
|---|---|---|---|---|
| Einschlußthermometer | 434565 | 5236438 | 1064488 | 6735491 |
| Stabthermometer | 69145 | 1103200 | — | 1172345 |
| Also insgesamt | 503710<br>(503285) | 6339638<br>(5640891) | 1064488<br>(894321) | 7907836<br>(7038497) |
| Davon erhielten auf Antrag: | | | | |
| einen Stempel | 464609 | 5981597 | 1021326 | 7467532 |
| keinen Stempel | — | 64675 | — | 64675 |
| Unzulässig (in %) | 7,1 | 4,2 | 3,9 | — |

Während des Kalenderjahres 1929 (die entsprechenden Zahlen für 1928 sind in Klammern gesetzt) wurden an nichtärztlichen Thermometern zur Prüfung eingereicht:

a) Beim Thüringischen Landesamt für Maß und Gewicht:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 2490 | (2508) | Laboratoriumsthermometer bis 100°, | davon 2347 | zulässig, |
| 2250 | (2840) | „ „ 600°, | „ 2033 | „ |
| 1473 | (1124) | meteorologische Thermometer, | „ 1387 | „ |
| 351 | (673) | gewerbliche Thermometer, | „ 311 | „ |
| 445 | (199) | Thermometer für den häuslichen Gebrauch, | „ 400 | „ |
| zusammen: 7009 | (7344) | Thermometer. | | |

Künstlich gealtert wurden 798 (557) und unter Druck gefüllt 9554 (5461) Thermometer.

b) Beim Hamburgischen Thermometerprüfamt:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 12 | (5) | Laboratoriumsthermometer bis 200°, | davon 9 | zulässig, |
| 23 | (12) | „ „ 400°, | „ 23 | „ |
| 2 | (0) | „ „ 450°, | „ 2 | „ |
| 121 | (52) | Thermometer für den häuslichen Gebrauch, | „ 117 | „ |
| zusammen 158 | (69) | Thermometer. | | |

*156. Prüftätigkeit des Laboratoriums für Strahlungsthermometrie*[2].

Während des Jahres 1929 (bzw. 1928) wurden folgende Gegenstände geprüft:

1 (3) Pyrometer nach Wanner,
1 (6) Glühfadenpyrometer nach Holborn und Kurlbaum mit 2 Pyrometerlampen und 3 Rauchgläsern,
1 (0) Spektralpyrometer mit 3 Pyrometerlampen,
1 (0) Mikropyrometer,
8 (1) Pyropto-Glühfadenpyrometer mit Rauchglas, davon 2 Stück mit 3 Pyrometerlampen, 2 Stück mit 2 Pyrometerlampen,
6 (37) Pyrometerlampen, davon 1 Stück mit Angabe der Farbtemperatur,
0 (5) pyrometrische Lichtschwächungen,

[1] Henning, Heuse, Ebert. [2] Hoffmann.

3 (7) Gesamtstrahlungspyrometer,
1 (1) Milliamperemeter für pyrometrische Zwecke,
24 (12) Bandlampen für pyrometrische Zwecke, davon 3 Stück mit Projektionslinse,
1 (2) Schrammsche Apparate zur Prüfung der Glutsicherheit von Isolierstoffen,
21 (14) Silitstäbe zum Schrammschen Prüfapparat.

Während des Jahres 1929 (bzw. 1928) wurden folgende Gegenstände geprüft: *157. Prüftätigkeit des Laboratoriums für Druck- und Ausdehnungsmessung*[1].

I. Instrumente für Druckmessungen.

19 (3) Quecksilber-Barometer,
30 (291) Aneroid-Barometer,
6 (1) Barographen,
96 (100) Manometer für Messungen bis 2000 kg/cm$^2$,
3 (3) Vakuummeter,
3 (1) Kolbenpressen,
1 — Statoskop,
— (1) Mikro-Manometer,
223 (250) Tiefsee-Umkippthermometer mit geschlossenem Schutzrohr,
26 (47) „ „ „ offenem „
3 — Öl-Vakuumpumpen,
5 — Diffusionspumpen.

II. Instrumente für Feuchtigkeitsmessungen.

11 (3) Haarhygrographen,
2 (1) Aspirations-Psychrometer.

III. Ausdehnungsmessungen.

2 (7) Stoffe auf Ausdehnungen (zwischen 0 und 200°).

Im Jahre 1929 (bzw. 1928) wurden folgende Gegenstände geprüft: *158. Prüftätigkeit des wärmetechnischen Laboratoriums*[2].

25 (48) Petroleumprober,
15 (16) Flammpunktprober,
2 (0) Flammpunktprüfer (Systemprüfung),
5 (6) Siedeapparate für Mineralöle,
12 (3) Proben verschiedener Art auf Wärmeleitung.

Im Berichtsjahr wurden Systemprüfungen an zwei (im Jahre 1928 ebenfalls zwei) technischen Viskosimetern durchgeführt, von denen eines ein Fallkörper-, das andere ein Torsionsviskosimeter war; außerdem wurden im Jahre 1929 (bzw. 1928) geprüft: *159. Prüftätigkeit des Laboratoriums für Strömungs- und Zähigkeitsmessungen*[2].

286 (357) Zähigkeitsmesser für empirisches Maß (Englergrade), darunter 208 (281) nach Ubbelohde, 14 (11) für höhere Temperaturen, 18 (17) mit $^1/_{10}$ Gefäß, 11 (5) vierfache und 2 (6) zweifache,
18 (12) Zähigkeitsmesser für physikalisches Maß nach Vogel-Ossag,
121 (59) Kapillaren zum Zähigkeitsmesser nach Vogel-Ossag,
1 (2) Mineralöle auf Zähigkeit.

Die aus der Prüftätigkeit der Abteilung III erwachsenen Einnahmen betrugen im Jahre 1929 (bzw. 1928) *160 Einnahmen aus der Prüftätigkeit.*
für Fieberthermometer 39240,23 RM (41832,38 RM),
„ andere Prüfgegenstände 67285,98 RM (71241,58 RM).

---

[1] Ebert. [2] Jakob, Erk.

## Abteilung IV.

Laboratorium F.

*161. Vakuumspektrograph mit Flußspatoptik*[1]. Die Vorversuche für den Bau eines Vakuumspektrographen mit der Flußspatoptik, die Herr Ritter, Inhaber der Firma Halle Nachfg. in Steglitz, geschenkt hatte, wurden abgeschlossen. Das Prisma wurde für $\lambda$ 1550 Å in die Minimumstellung gebracht. Für diese Wellenlänge befindet sich der Spalt in der Brennebene der Kollimatorlinse. Die Brennweite der Linsen, die im sichtbaren Licht 30 cm beträgt, ist für $\lambda$ 1550 24,2 cm. Das Spektrum von $\lambda$ 2000 bis $\lambda$ 1200 hat eine Ausdehnung von 20 cm. Auf der ungekrümmten photographischen Platte sind die Linien von $\lambda$ 2000 bis etwa $\lambda$ 1400 scharf zu erhalten. Soll der ganze Bereich bis $\lambda$ 1200 gleichzeitig photographiert werden, so ist eine gebogene Platte zu verwenden.

*162. Spektroskopische Prüfungen*[2]. Es wurden 4 Anträge auf spektroskopische Prüfungen bearbeitet; es handelt sich dabei um Salzgemische und um Leuchtmaterialien in Dampflampen. Die spektralanalytischen Untersuchungen sollten als Ergänzung oder Ersatz für chemische Analysen dienen.

*163. Verschärfte Interferenzen*[3]. Zur Erzeugung verschärfter Interferenzen wurden nach einem früher beschriebenen Verfahren zwei doppelseitig durchlässig versilberte Glas- und zwei ebensolche Quarzplatten der Firma Halle-Nachfolger, Berlin-Steglitz, miteinander kombiniert.

Testaufnahmen haben die Brauchbarkeit solcher Multiplexsysteme bewiesen.

*164. Gasentladung in Wasserstoff*[4]. Das Auftreten der Schichten in der Woodschen Entladung ist durch Rekombination von $H_1$ zu $H_2$ an Katalysatoren bedingt. Die Anzahl der an einem Katalysator auftretenden Schichten bildet ein Maaß für die katalytische Wirkung des Katalysators. (Anh. Nr. 111.)

Die in der $H_2$-Entladung auftretenden blauen Schichten, die das Kontinuum des Wasserstoffs lichtstark enthalten, sind auf Beimengungen von anderen Gasen mit geringerer Ionisationsspannung als $H_2$ zurückzuführen. Die blauen Schichten wandern in der Entladung zur Kathode. Eine eingehende Veröffentlichung über die Entstehungsbedingungen der blauen Schichten und des blauen Saumes an der ersten $H_2$-Schicht ist in Vorbereitung.

*165. Methode zum Nachweis der Anregungsspannungen mit Hilfe der Gasentladung*[4]. An der Grenze der positiven Säule und des Faradayschen Dunkelraumes findet bei Entladungen in reinen Gasen ein schneller Anstieg der Elektronengeschwindigkeit statt. Ist dem Gase aber ein zweites, mit geringerer Ionisierungsspannung in geringer Konzentration beigemischt, so erfolgt ein langsamer Anstieg der Elektronengeschwindigkeit. Die Spektren verschiedener Anregungsspannung werden dann räumlich nebeneinander erzeugt. Diese Anregungsdispersion kann durch Veränderung des Mischungsverhältnisses, der Stromstärke und des Druckes verändert werden. Da es sich um eine sehr lichtstarke Entladungserscheinung handelt, ist die Methode zur Untersuchung von Molekülspektren besonders geeignet. Die ersten Ergebnisse sind in Druck. Eine ausführliche Veröffentlichung ist in Vorbereitung.

Laboratorium P.

*166. Photometrische Vergleichungen*[5]. Im Jahre 1929 wurden geprüft:

45 (55) Hefnerlampen, davon wurden
40 (50) beglaubigt,
13 (6) Kohlefadenlampen als Normallampen,
398 (345) Metallfadenlampen, davon

- 173 (211) als Normallampen für photometrische Zwecke,
- 30 (25) Glühlampen als Normallampen für Internationale Vergleichungen mit dem *Bureau of Standards* (Washington) und dem *Laboratoire centrale d'électricité* (Paris),
- 4 (15) Lampen als Normallampen für verschiedene Spannungen,
- 2 (5) Soffitten- und Kinoröhrenlampen,
- 2 gasgefüllte Spiraldrahtlampen zu 3 bzw. 5 Kilowatt,
- 154 (73) Glühlampen in Dauerprüfung mit insgesamt 53523 (44897) Brennstunden,

[1] Janicki, Keil. [2] Janicki. [3] Gehrcke, Lau. [4] Lau, Reichenheim.
[5] Dziobek, Spiller.

| | | |
|---|---|---|
| 8 | (9) | Lampen für allgemeine Steuerzwecke, |
| 14 | (14) | Acetylenbrenner, |
| 3 | (5) | Photometer, |
| 2 | (1) | Gashängelampen, |
| 2 | (—) | Entladungsröhren, |
| 76 | | Durchlässigkeitsbestimmungen, davon 10 spektralphotometrisch. |

Unter den Normallampen befinden sich auch solche mit farbiger Glashülle, wie sie z. Zt. viel-ach zu dekorativen Zwecken Verwendung finden. Nachdem der Farbanschluß einmal erfolgt ist, können lerartige Lampen jetzt direkt in der Ulbrichtschen Kugel gemessen werden.

*167. Internationale Vergleichsmessungen*[1].

Die im Tätigkeitsbericht für das Vorjahr erwähnten Blaufilter sind inzwischen im *National Physical Laboratory* und im *Bureau of Standards* bereits ausgemessen worden; diese Messungen haben Jnstimmigkeiten zwischen den verschiedenen Laboratorien ergeben, die durch weitere Vergleichs-nessungen aufgeklärt werden sollen. Man hofft, die Arbeiten so fördern zu können, daß auf der m Herbst 1931 stattfindenden Tagung der Internationalen Beleuchtungskommission eine Einigung ämtlicher Staatsinstitute über die bei der Überbrückung des Farbensprunges anzuwendenden Methoden rfolgen kann.

*168. Kolorimetrie*[1].

Der Bau des Apparates zur direkten Bestimmung der Koordinaten im Helmholtzschen Dreieck st soweit fortgeschritten, daß mit einem baldigen Beginn der Messungen gerechnet werden kann.

*169. Messungen an Glühlampen mit ultraviolett durchlässiger Glashülle*[1].

Es wurde eine Apparatur entworfen, um die räumliche Energieverteilung von Glühlampen im ltravioletten Gebiet, insbesondere in dem biologisch wichtigen Gebiet von 320 bis 280 m$\mu$ aufzunehmen. Die Messungen ergaben, daß die Energieverteilung im kurzwelligen Gebiet von der Energieverteilung m sichtbaren Gebiet bereits erheblich abweicht. Über die Methode ist auf der Jahrestagung der Deut-chen Beleuchtungstechnischen Gesellschaft berichtet worden; ihre Veröffentlichung steht bevor. uch Messungen der Änderung der Energieausbeute im Ultraviolett bei den verschiedenen Wellen-ingen in Abhängigkeit von der Brennzeit sind bereits ausgeführt worden; auch die Veröffentlichung ieser Messungen steht bevor.

*170. Reflexion an glühendem Wolfram*[2].

Die Messungen des Reflexionsvermögens von glühendem Wolfram im ultravioletten Teil des pektrums ergaben einen konstanten Wert. Diese Tatsache steht im Widerspruch zu den Messungen on Hulburt (*Astrophys. Journ.* **42.** *S. 203. 1915*), der einen erheblichen Anstieg des Reflexions-ermögens im Ultraviolett feststellte. Es besteht die Möglichkeit, daß die aus dem Spalt des Wolfram-öhrchens, das die Studienges. der Osram G. m. b. H. Berlin zur Verfügung gestellt hatte, austretende trahlung keine absolut schwarze ist. Es wurde ein neues Wolframröhrchen, wieder von der Osram . m. b. H. Berlin, beschafft, an dessen Längsseite sich eine kleine runde Öffnung zur Untersuchung er schwarzen Strahlung befindet. Die Messungen an diesem Röhrchen sind im Gange.

## Laboratorium O.

*171. Durchlässigkeit von Gläsern im Ultraviolett*[3].

Auch in diesem Jahre wurden eine größere Anzahl von Glasproben auf ihre Durchlässigkeit ir Ultraviolett und die Abnahme dieser Durchlässigkeit nach Bestrahlung mit Quecksilberlicht ntersucht.

*172. Spektrale Untersuchung von lichtempfindlichen Zellen*[3].

Es wurden an einer Reihe von Selen-, Tellur- und Thallofide-Zellen Messungen zur Bestimmung er spektralen Verteilung ihrer Empfindlichkeit im sichtbaren und ultraroten Spektralgebiet angestellt.

*173. Objektivuntersuchungen*[3].

Abgesehen von den zur Prüfung eingesandten photographischen Objektiven wurden Objektive erschiedener Bauart auf ihre Abbildungsfehler untersucht. Über die Ergänzung der hierbei an-ewandten Methode der streifenden Abbildung bezüglich der Untersuchung der Comafehler wird in ner besonderen Veröffentlichung berichtet werden. Über den Lichtabfall nach dem Rande des Bild-ldes bei photographischen Objektiven, der bei den verhältnismäßig langgebauten modernen licht-arken Objektiven von besonderer Bedeutung ist, wurden photometrische Messungen angestellt.

[1] Dziobek, Spiller. [2] Spiller. [3] Wetthauer.

*174. Kathodenzerstäubung*[1]. Es wurden eine große Anzahl von Verspiegelungen durch Kathodenzerstäubung von Silber, Gold und Platin hergestellt.

*175. Dioptrische u. spektroskopische Prüfungen*[1]. (Vgl. Verzeichnis Ziffer 176.)

*176. Übersicht der auf Antrag ausgeführten Untersuchungen.*

| | | | |
|---|---|---|---|
| 36 | (85) | Glasproben | Lichtdurchlässigkeit für Licht verschiedener Wellenlängen, |
| 10 | (3) | Zelldrahtglasproben | Spektogramm, |
| 4 | (4) |Ferngläser | Vergrößerung, Helligkeit, Lichtstärke und Gesichtsfeld, |
| 1 | (7) | Objektiv | Krümmungsradien, Dicken und Abstände der Linsen, |
| 2 | (0) | Objektive | Brennweite, Lage der Hauptpunkte und Verzeichnung, |
| 4 | (0) | Linsen | Krümmungsradien, |
| 10 | (0) | Reflektormetallproben | Reflexion für ultraviolettes Licht, |
| 1 | (0) | Glasprobe | Lichtbrechungsvermögen für die $D$-Linie. |

## Laboratorium S.

Infolge längerer Erkrankung des Laboratoriumsvorstehers konnten nur einige Arbeitsgebiete des Strahlungslaboratoriums wunschgemäß gefördert werden.

*177. Warburgsche Lichteinheit*[2]. Nach Abschluß der Genauigkeitsuntersuchung bei der entwickelten lichtelektrischen Meßmethode ist mit weiterer dankenswerter Unterstützung der Notgemeinschaft der zur nebenlichtfreien spektralen Ausgrenzung erforderliche Doppelmonochromator gebaut worden, bei dem zwecks Erzielung einer gedrängten Gesamtapparatur zwei Feryprismen großer Brennweite mit vertikalem Strahlengang angeordnet sind. Weitere Arbeiten betrafen die Herstellung einer Spezialthermosäule mit weiter Durchsicht für die Gesamtstrahlungsmessungen und Verbesserungen des Vakuumstrahlers hinsichtlich Temperaturkonstanz und Ausgeglichenheit, die mit freundlicher Unterstützung der Osramfabrik A, insbesondere von Herrn Oberingenieur Regenstreif, durchgeführt wurden. Eine besonders schwierige Aufgabe bietet die Realisierung des für die Empfindlichkeitsüberwachung nötigen Vergleichsstrahlers, der Strahlung von $\lambda = 0{,}486\,\mu$ stundenlang bis auf Bruchteile eines Promille konstant liefern muß. Die Versuche lassen erhoffen, daß mit einer Glühlampe, deren Widerstand in Brückenschaltung kontrolliert wird, bei besonderer Betriebsweise von einer kleinen Pufferbatterie die nötige Stromkonstanz auf wenige hundertstel Promille erreichbar sein wird.

*178. Bestimmung der Konstanten σ*[3]. Ein vorläufiger Bericht ist im Handbuch der Experimentalphysik von Wien-Harms, Bd. 9 veröffentlicht worden.

*179. Ausbildung neuer Strahlungsmeßgeräte.* Das in Zusammenarbeit mit der deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt (Herren Dr. Koppe, Dr. Lacmann, Dr. Schreiber) entwickelte Peilgerät[4] für Navigierung mit Ultrarotstrahlung (Nebelnavigierung) ist fertiggestellt worden und hat eine hohe Richtungsschärfe, sowie weitgehende Unabhängigkeit von äußeren Einflüssen bewiesen. Bei seiner Konstruktion wurde angestrebt, unter Benutzung der 1920 von Case entwickelten Thalofide-Ultrarotzelle (Thallium-Schwefel-Sauerstoffverbindung) ein Bordgerät für Luftfahrzeuge zu schaffen, welches, mit einer Verstärkerapparatur kombiniert, bei ungefährem Insichtkommen eines Signallichts sofort die notwendige Richtungskorrektur durch den Sinn des Instrumentenausschlages anzeigen sollte, und zwar sowohl in seitlicher wie vertikaler Hinsicht. Das für das Peilgerät gewählte Wirkungsprinzip ist folgendes: Durch die Thalofidezelle wird von einem kleinen Wechselstromgenerator her ein Wechselstrom geschickt, der nach Verstärkung ein Gleichstrommeßgerät durchfließt. Durch einen mit dem Wechselstromgenerator gekuppelten Spiegel wird in der einen Stromrichtung des Wechselstroms jeweils das Blickfeld der Thalofidezelle auf einen Geländeabschnitt $a$ gerichtet, in der anderen Stromrichtung auf einen seitlich daneben liegenden Geländeabschnitt $b$. Tritt in dem einen der beiden automatisch abgetasteten Geländebereiche eine zusätzliche Signalstrahlung auf, so äußert sich diese am Gleichstrominstrument in einem einseitigen, direkt richtungsweisenden Ausschlag. Durch kreuzweise Kombination zweier Anordnungen läßt sich neben Seitenweisung auch Höhenweisung erreichen. Störungen durch langsame Änderungen der Temperatur oder der Allgemeinhelligkeit fallen wegen des Wechselstrombetriebs weitgehend heraus. Im

---

[1] Wetthauer. [2] Müller, Frisch. [3] Müller. [4] Müller, W. Schulze.

'erfolg dieser Arbeiten und eines Vortrages, welchen Dr. Müller auf einer vom Verein deutscher ngenieure einberufenen Konferenz für Ultrarot-Signalisierung hielt, haben in dankenswerter Weise ie Deutsche Reichsbahngesellschaft auf Veranlassung von Herrn Reichsbahnrat Dr. Bäseler, ferner ie nautische Abteilung der Marine und das Heereswaffenamt auf Veranlassung der Herren Geheimrat Viedemeyer, Prof. Maurer, Oberst chubert, für den Rest des Etatjahrs littel zur Klärung der spektralen Strahınschwächung durch Rauch, Dampf, lebel, Tau, sowie zur Ausbildung veresserter Strahlungsmeßgeräte zur Verigung gestellt. Für die Reichsbahn sind iese Untersuchungen[1] wegen des optihen Zugsicherungssystems von Dr. äseler von besonderer Bedeutung. Weiere Versuche erstreckten sich auf spekrale Vergleichungen von Selenzellen und ltrarotempfindlichen Empfängern in Art er Thalofidezellen nach Case, die neuerings im Hinblick auf die Beschaffungsnmöglichkeit der Caseschen Originalellen auch von französischen und deuthen Firmen hergestellt werden. (Bei er Osramfabrik A, veranlaßt durch errn Direktor Dr. Mey, durch Herrn r. Sewig; bei Telefunken, veranlaßt ırch Herrn Direktor Dr. Schröter, ırch Herrn Dr. Michelssen.) Die spekalen Empfindlichkeitskurven stimmten eitgehend überein (vgl. die Kurven der bb. 22).

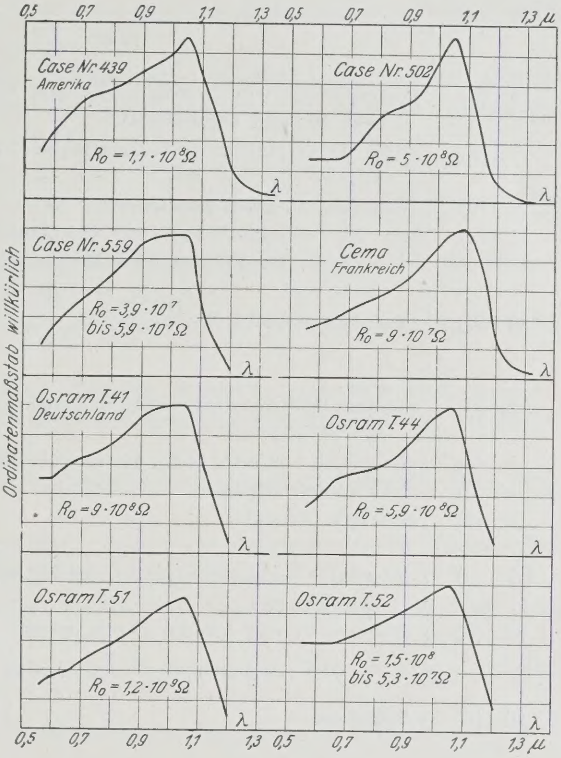



Abb. 22.

Die erforderlichen Apparaturen sind T. fertiggestellt und Versuche verschiedentlich in Angriff genommen. *180. Herstellung und Untersuchung der Eigenschaften dünner Folien[2].*

Die erforderliche optische Ausrüstung ist in Auftrag gegeben und z. T. geliefert. Von der rma Franz Schmidt & Haensch ist nach dem von C. Müller im Tätigkeitsbericht 1927 (*Zeitschr. Instrkde.* **48.** *S. 271. 1928*) angegebenen Doppelmonochromatorprinzip mit Strahlenumlenkung und mschaltbarkeit von doppelter Reinigung auf verdoppelte Zerlegung für andere Laboratorien der bteilung IV ein Doppelmonochromator für das sichtbare und ultraviolette Strahlengebiet gebaut orden, bei dem gemäß Verbesserung durch Herrn Bechstein das Prisma mit Minimumführung ıd die Linsen mit automatischer Brennweiteneinstellung versehen sind. *181. Registrierendes Spektralphotometer für das gesamte Strahlengebiet[3].*

Die Zahl der Registrierphotometrierungen hat außerordentlich zugenommen (591 gegen 268 Vorjahre, davon 131 für Zwecke der Reichsanstalt). Seit längerem fertig ausgearbeitete Verbesserungen zur Steigerung der Feinauflösung (mittels einer experimentellen Lösung der Paschenschen altbreitenkorrektion) mußten deshalb leider erneut zurückgestellt werden. *182. Laufende Prüfungen[4].*

## Laboratorium J.

Die Prüfungsarbeiten des Laboratoriums für Polarimetrie auf diesem Gebiete sowie auf dem s Planparallelismus, der optischen Homogenität usw., welche in der folgenden Tabelle zusammenstellt sind, haben zu ihrer Erledigung wieder einen sehr großen Zeitaufwand verlangt. Zur Förderung r wissenschaftlichen Aufgaben des Arbeitsplans blieb daher nur verhältnismäßig wenig Zeit übrig. *183. Polarimetrische Prüfungen und solche auf Planparallelismus[5].*

[1] Müller, W. Schulze, Frisch. [2] Müller, A. Schulze, Frisch, Kolhörster, Jaeger.
[3] Müller, Frisch. [4] Müller. [5] Schönrock, Einsporn.

| Anzahl | Gegenstand | Art der Prüfung |
|---|---|---|
| 16 (13) | Saccharimeter-Quarzplatten | optische Reinheit, Planparallelismus, Achsenfehler und Drehungswert |
| 1 (0) | Quarzplatte von 4,7 mm Dicke | optische Reinheit, Planparallelismus, Achsenfehler, Drehungswinkel für die 3 Lichtarten Hg blau 4358, Na gelb 5892 und Li rot 6708 |
| 4 (0) | Quarzplatten von 14 mm Dicke und 60 bzw. 100 mm Durchmesser | optische Reinheit, Planparallelismus, Achsenlage |
| 7 (6) | große Quarzplatten mit Dicken bis zu 62 mm | optische Reinheit |
| 2 (0) | Cornusche Prismen aus Quarz | Ebenheit der Flächen |
| 11 (12) | Lummer-Gehrcke-Platten mit Durchmessern bis zu 470 mm und Dicken bis zu 15 mm | Planparallelismus, Spannung und Schlieren |
| 84 (29) | Glasplatten von 2 Stufengittern | Untersuchung der einzelnen Stufen auf Dickendifferenz untereinander, Planparallelismus, Spannung und Schlieren |
| 2 (0) | planparallele Glasplatten mit Durchmessern bis zu 160 mm | Planparallelismus, Spannung und Schlieren |
| 1 (3) | Glasplatte von $25 \times 410 \times 410$ mm³ Größe | Spannung und Schlieren |
| 1 (0) | Spektrometer-Spiegel | Ebenheit |
| 2 (0) | Scheiben Tafelglas | Ebenheit, Spannung, Schlieren und Lichtbrechungsvermögen für die *D*-Linie |
| 1 (0) | unterteilte Kondensatorplatte von 298 mm Durchmesser | Ebenheit und Niveaudifferenz zwischen Innen- und Außenfläche |
| 52 (0) | Stahlkugeln von 5,0 mm Durchmesser | Abweichung der mittleren Durchmesser untereinander und Rundheit der einzelnen Kugeln |
| 10 (0) | Ampullen | Spannung |

*184. Spannungsmessungen im Glase*[1]. Bei der quantitativen Ausmessung der Spannung im Glase bediente man sich weiter vorteilhaft der im vorigen Tätigkeitsbericht erwähnten Methode mittels der Haidingerschen Ringe im reflektierten polarisierten Lichte, bei welcher die im Glase vorhandene Spannung zahlenmäßig durch die Größe der Doppelbrechung ausgedrückt wird. Die Richtigkeit der so erhaltenen Resultate konnte durch kontrollierende Messungen mit Hilfe eines Halbschatten-Quarzkompensators bestätigt werden.

*185. Untersuchung von Stahlkugeln*[2]. Die systematische vergleichende Untersuchung von Stahlkugeln auf ihre Güte (von 11 verschiedenen Firmen des In- und Auslandes) ist fortgesetzt worden. Sie wurde für die drei Kugelsorten mit 12,7 bzw. 9,0 bzw. 6,0 mm Durchmesser zu Ende geführt, so daß nur noch die Prüfung der vierten Kugelsorte von 3,0 mm Durchmesser aussteht. Eine Mitteilung hierüber ist veröffentlicht (Anhang Nr. 114).

*186. Polarimetrische Untersuchungen*[2]. Die vergleichenden polarimetrischen Arbeiten zur Bestimmung der Rotationsdispersion einerseits mit homogenen Spektrallinien, andererseits mit Licht aus dem Spektrum des weißen Lichtes sind wieder aufgenommen worden. Benutzt wird dabei auch der neue, nach den Angaben des Herrn C. Müller konstruierte Doppelmonochromator der Firma Franz Schmidt & Haensch (Berlin S. 42).

*187. Elektromagnetische Drehung*[2]. Zur Messung der elektromagnetischen Drehung der Polarisationsebene in Müllerschen Metallfolien ist ein Halbring-Elektromagnet nach du Bois von der Firma Hartmann & Braun A.G. (Frankfurt a. M.) beschafft und einer eingehenden Prüfung unterzogen worden. Der große zugehörige empfindliche Polarisationsapparat (mit 0,001° Teilkreis-Ablesung) ist nach den genauen Angaben der Reichsanstalt von der Firma Franz Schmidt & Haensch (Berlin S. 42) gebaut worden, und zwar in ganz vortrefflicher Ausführung; er ist aber erst kürzlich zur Ablieferung gelangt.

[1] Schönrock. [2] Schönrock, Einsporn.

## Anhang.

### Veröffentlichungen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.

1. Bericht über die Tätigkeit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt im Jahre 1928. *Zeitschr. f. Instrkde.* ***49.*** *S. 157. 213. 265. 1929.*
2. Wissenschaftliche Abhandlungen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt **12.** Heft 2, 304 S. **13.** Heft 1, 247 S. Berlin: Julius Springer. 1929.
3. Mitteilungen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, Abteilung I für Maß und Gewicht (11. Reihe Nr. 12 bis 16) Berlin, Deutsches Reichsgesetzbuch für Industrie, Handel und Gewerbe. Robert und Bruno Schulz, 1929.
4. Verordnung über Änderung der Eichordnung. Vom 13. Mai 1929 (Mitt. 11. R. S. 237).
5. Verordnung über Übergangsbestimmungen für die Neueichung von Meßgeräten. Vom 13. Mai 1929 (Mitt. 11. R. S. 251).
6. Verordnung über Abändernng der Verordnung über Übergangsbestimmungen für die Eichung von Meßgeräten. Vom 15. Mai 1929 (Mitt. 11. R. S. 251).
7. Vierte Verordnung über Änderung der Verkehrsfehlergrenzen von Meßgeräten. Vom 11. November 1929 (Mitt. 11. R. S. 269).
8. Verordnung über Änderung der Eichordnung. Vom 22. November 1929 (Mitt. 11. R. S. 272).
9. Verordnung über Übergangsbestimmungen für die Neueichung von Meßgeräten. Vom 22. November 1929 (Mitt. 11. R. S. 277).
10. Vierte Verordnung über Änderung der Eichgebührenordnung. Vom 26. November 1929 (Mitt. 11. R. S. 277).
11. Verordnung über Festsetzung einstweiliger Eichgebühren für Meßwerkzeuge für Flüssigkeiten. Vom 7. Dezember 1929 (Mitt. 11. R. S. 279).
12. Bekanntmachung über die Prüfung von Parallelendmaßen. Vom 22. Februar 1929 (Mitt. 11. R. S. 197).
13. Bekanntmachung über die Neueichung selbsttätiger Balkenwaagen. Vom 19. Nov. 1929 (Mitt. 11. R. S. 253).
14. Übersicht über die Geschäftstätigkeit der Eichbehörden im Rechnungsjahr 1926 und 1927 (Mitt. 11. R. Nr. 13, Beilage Nr. 1 und 2).
15. Prüfung von Waagen mit Neigungsgewichtseinrichtung (Mitt. 11. R. S. 202).
16. Von außen einstellbare Reguliervorrichtung an Waagen mit Sicherheitsdruckwerk (Mitt. 11. R. S. 219 und 220).
17. Thermometrische Reduktionsskalen für Zuckerspindeln. (Mitt. 11. R. S. 221).
18. Richtlinien für die Beurteilung der Gefahrlosigkeit des Zugangs von Meßgeräten (Mitt. 11. R. S. 221).
19. Endgültig zugelassene Waagen mit Neigungsgewichtseinrichtung (Mitt. 11. R. S. 225).
20. Waagen mit Neigungsgewichtseinrichtung, mit 9 Figuren (Mitt. 11. R. S. 226).
21. Zusammenstellung der zur Eichung zugelassenen Waagen mit Neigungsgewichtseinrichtung (Mitt. 11. R. S. 233 — Fortsetzung und Ergänzung des 474. Zusatzes zur Instruktion; Mitt. 11. R. Nr. 10).
22. Einwandige Fässer aus Metall (Mitt. 11. R. S. 253).
23. Thermometrische Reduktionsskalen für Saccharimeter und Würzeprober (Mitt. 11. R. S. 255).
24. Gleiswaagen ohne Gleisunterbrechung (Mitt. 11. R. S. 254).
25. Tafel für hochprozentigen Branntwein (Mitt. 11. R. S.257).
26. Allgemeine Bestimmungen für die Eichung von Handelswaagen (Mitt. 11. R. S. 280).
27. Übergangsbestimmungen für nasse Trommelgasmesser von 150 $m^3$ Stundenleistung oder mehr (Mitt. 11. R. S. 284).
28. Bekanntmachungen über Prüfung und Beglaubigung durch die Elektrischen Prüfämter Nr. 265 bis 275. Reichsministerialblatt **56.** S. 610, 611, 679, 685, 696. 1928. **57.** S. 251, 313, 385, 623. 1929. Elektrotechn. Zeitschr. **50.** S. 18, 92, 162, 234, 308, 390, 614, 900, 1057, 1202, 1698, 1929.
29. Bekanntmachung über die Höhenskale auf Aneroidbarometern. *Reichsministerialblatt* ***57.*** *S. 291. 1929.*

## Präsidial-Abteilung.

### Amtliche Veröffentlichungen.


30. Bothe. Zur Vereinfachung von Koinzidenzzählungen. *Zeitschr. f. Physik* **59.** *S. 1. 1929.*
31. Bothe und Kolhörster. Das Wesen der Höhenstrahlung. *Zeitschr. f. Physik* **56.** *S. 751. 1929.*
32. Göpel. Die Prüfung konischer Normalgewinde. *Werkstattstechn.* **22.** *S. 586. 1929.*
33. Göpel. Verbessertes Gewindemeßgerät. *Zeitschr. f. Instrkde.* **50.** *S. 33. 1930.*
34. Gremmer. Serien im Kryptonbogenspektrum. *Zeitschr. f. Physik* **54.** *S. 215. 1929.*
35. Gremmer. Serien im Xenonbogenspektrum. *Zeitschr. f. Physik.* **59.** *S. 154. 1929.*
36. Meidinger. Die Bromierung des Benzols im Licht. *Zeitschr. f. physikal. Chemie (B)* **5.** *S. 29. 1929.*
37. Meißner und Scheffers. Messungen mit Hilfe von flüssigem Helium: IV. Elektrischer Widerstand von Gold in magnetischen Feldern bei tiefen Temperaturen. Bemerkungen zur Arbeit Kapitza's über die Änderung der elektrischen Leitfähigkeit in starken Magnetfeldern. *Physikal. Zeitschr.* **30.** *S. 827. 1929.*
38. Meißner. Messungen mit Hilfe von flüssigem Helium: V. Supraleitfähigkeit von Kupfersulfid. *Zeitschr. f. Physik* **58.** *S. 570. 1929.*
39. Meißner. Supraleitfähigkeit von Thorium. *Naturwissensch.* **17.** *S. 390. 1929.*
40. Naudé. Die Quartettstruktur des ersten Funkenspektrums des Quecksilbers, Hg. II. *Ann. d. Physik (5)* **3.** *S. 1. 1929.*
41. Paschen. Lymans Heliumlinien. *Sitzungsber. d. Berl. Akad. 1929. S. 662. Nr. 30.*
42. Takahashi. Die ersten Funkenspektren von Zink und Cadmium. *Ann. d. Physik (5)* **3.** *S. 27. 1929.*
43. Takahashi. Die Leuchtanregung im negativen Glimmlicht einer Heliumentladung. *Ann. d. Phyisk (5)* **3.** *S. 49. 1929.*


### Private Veröffentlichungen.


44. Bothe. Mitarbeit an der 16. Auflage von Kohlrausch, Lehrbuch der praktischen Physik. 1930.
45. Paschen. Müller-Pouillets Lehrbuch der Physik, 11. Auflage Bd. II, 3, Serienspektren.
46. Paschen. Carl Runge. *Astrophys. Journ.* **69.** *S. 317. 1929.*
47. Paschen. Forschungen im Schumann-Gebiet des Spektrums. *Forschungen und Fortschritte* **6.** *S. 5. 1930.*
48. Ritschl. Über eine lichtstarke Anregung von Spektrallinien im Vakuumofen bei kleinen Spannungen. *Verhandl. d. D. Phys. Ges. (3)* **10.** *S. 33. 1929.*
49. Scheel. Mitarbeit an der 16. Auflage von Kohlrausch, Lehrbuch der praktischen Physik. 1930.
50. Scheel (mit Geiger). Herausgabe des Handbuches der Physik. Berlin, Julius Springer, 1929; 1929 sind die letzten 3 Bände erschienen.
51. Warburg und Rump. Über die Photolyse der Lösungen von Schwefelwasserstoff in Hexan und in Wasser und über die Photolyse von Lösungen im allgemeinen. *Zeitschr. f. Physik* **58.** *S. 291. 1929.*
52. Werner. Ein neuer Hochseepegel. *Marine-Rundschau 1929. S. 509. Heft 11.*


## Abteilung II.

### Amtliche Veröffentlichungen.


53. Behnken. Dosimetrische Untersuchungen über Röntgenstrahlenschutz und Strahlenschutzröhren. *Fortschr. a. d. Geb. d. Röntgenstrahlen* **41.** *1930* (im Druck).
54. Giebe und Scheibe. Internationale Vergleichungen von Frequenznormalen für elektrische Schwingungen. *Jahrb. d. drahtl. Telegr.* **33.** *S. 176. 1929.*
55. Goens. Elastische Konstanten des einkristallinen Aluminium und Gold. (Vorläufige Mitteilung.) *Naturwissenseh.* **17.** *S. 180. 1929.*
56. Jaeger, Zusatz zu der Arbeit: Eine Kompensationsmethode zur Messung schwacher Ströme. *Zeitschr. f. Physik* **54.** *S. 152. 1929.*
57. Jaeger. Ein neues Dosismesserprinzip. (Kompensationsmethode mit regelbarem Stromnormal.) *Strahlentherapie* **33.** *S. 542. 1929.* Nachtrag. Ebenda *S. 801.*

58. Kluge und Linckh. Piezoelektrische Messungen von Druck- und Beschleunigungskräften. *Zeitschr. d. Ver. d. Ing.* ***73.*** *S. 1311. 1929.*

59. Kußmann und Scharnow. Über die Koerzitivkraft. I. Teil. Koerzitivkraft und mechanische Härte. *Zeitschr. f. Physik* ***54.*** *S. 1. 1929.*

60. Linckh. Ein Beitrag zur Bestimmung der Zusatzverluste in Drehstromasynchronmotoren. *Arch. f. Elektrotechn.* ***23.*** *S. 19. 1929.*

61. Linckh und R. Vieweg. Über das stroboskopische Noniusverfahren. *Arch. f. Elektrotechn.* ***23.*** *S. 77. 1929.*

62. Schulze. Über die angebliche Allotropie des Wismuts. *Zeitschr. f. techn. Physik* ***11.*** *S. 16. 1930.*

63. v. Steinwehr. Über die geschichtliche Entwicklung der elektrischen Einheiten. *Zeitschr. f. Instrkde.* ***50.*** *S. 19. 1930.*

64. v. Steinwehr und Schulze. Die Herstellung sehr reinen Quecksilbers. *Zeitschr. f. Instrkde.* ***49.*** *S. 566. 1929.*

65. R. Vieweg und Pfestorf. Einige elektrische Messungen bei Hochspannung und Temperaturen bis — 50°. *Zeitschr. f. techn. Physik* ***10.*** *S. 515. 1929.*

66. V. Vieweg und Kluge. Über Messungen der Schmierfähigkeit von Ölen in Lagern. *Arch. f. d. Eisenhüttenwes.* ***2.*** *S. 805. 1929.*

Private Veröffentlichungen.

67. Giebe. Mitarbeit an der 16. Auflage von Kohlrausch, Lehrbuch der praktischen Physik. 1930.

68. Herrmann und Jaeger. Über eine Röntgenapparatur für ca. 400 kV Röhrenspannung. *Fortschritte a. d. Geb. d. Röntgenstrahlen.* ***41.*** *1930.* (Im Druck.)

69. Jaeger. Die internationale Röntgendosiseinheit „r". *Die technische Assistentin.* ***9.*** *Heft 9 und 11. 1929.*

70. Jaeger. Technisches von der 20. Tagung der Deutschen Röntgen-Gesellschaft in Wien vom 20. bis 22. April 1929. *Die technische Assistentin.* ***9.*** *Heft 13. 1929.*

71. Kaya u. Kussmann. Über die Magnetisierbarkeit der Nickel-Mangan-Legierungen. *Naturwissensch.* ***17.*** *S. 995. 1929.*

72. Kussmann. Mitarbeit am Chemiker-Kalender 1930.

73. Kussmann und Scharnow mit B. Blumenthal. Kurze Mitteilung über die Systeme Mangan-Nickel und Mangan-Cobalt. *Zeitschr. f. Metallkde.* ***21.*** *S. 416. 1929.*

74. Linckh. Ein Beitrag zur Bestimmung der Zusatzverluste in Drehstromasynchronmotoren. Diss. T. H. Berlin.

75. Linckh. Messungen an elektrischen Maschinen und Transformatoren. Rziha u. Seidener, Starkstromtechnik, Bd. I, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin 1929, S. 283—289.

76. Schulze, Das Monel-Metall und seine technische Verwendung. *Gießerei-Ztg.* ***25.*** *S. 697. 1928.*

77. Schulze, Neue Untersuchungen über die physikalischen Eigenschaften der Eisenlegierungen. *Gießerei-Ztg.* ***26.*** *S. 389 u. 428. 1929.*

78. Schulze, Die Hauptversammlung der Deutschen Gesellschaft für Metallkunde in Düsseldorf 1929. *Gießerei-Ztg.* ***26.*** *S. 600. 1929.*

79. Schulze, Metallkundliche Arbeiten der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt im Jahre 1928. *Zeitschr. f. Metallkde.* ***21.*** *S. 421. 1929.*

80. v. Steinwehr, *Considérations touchant le remplacement des unités électriques internationales par les unités électriques absolues. Comité international des poids et mesures. Procès-verbaux des séancus* (2) ***13.*** *S. 125. 1929.* Paris, Gauthier-Villars.

81. Zickner, Eine Induktivitäts- und Kapazitätsmeßbrücke. *Helios* ***35.*** *S. 285. 1929.*

## Abteilung III.

Amtliche Veröffentlichungen.

82. Ebert, Über die barometrische Höhenskala. *Zeitschr. f. Instrkde.* ***49.*** *S. 407. 1929.*

83. Ebert, Dampfdrucke einiger wäßriger Lösungen und ihre Verwendung zur Herstellung bestimmter relativer Feuchtigkeiten. *Zeitschr. f. Instrkde.* ***50.*** *S. 43. 1930.*

84. Erk, Über Zähigkeitsmessungen nach der Kapillarmethode. *Zeitschr. f. techn. Physik* **10.** *S. 452. 1929.*

85. Heuse und Otto, Über eine Neubestimmung des Grenzwertes der Ausdehnungs- und Spannungskoeffizienten von Helium, Wasserstoff und Stickstoff. *Ann. d. Physik (5)* **2.** *S. 1012. 1929.*

86. Jakob, Die Verdampfungswärme des Wassers und das spezifische Volumen von Sattdampf für Temperaturen bis 210°. *Zeitschr. d. Ver. d. Ing.* **73.** *S. 504. 1929.*

87. Jakob und Erk, Die Wärmeleitfähigkeit von Eis zwischen 0° und — 125°. *Zeitschr. f. techn. Physik* **10.** *S. 623. 1929; Zeitschr. f. d. ges. Kälteindustrie* **36.** *S. 229. 1929.*

88. Jakob und Erk, Der Wärmeübergang beim Kondensieren von Heiß- und Sattdampf. *Zeitschr. d. Ver. d. Ing.* **73.** *S. 761. 1929.*

89. Jakob, Erk und Eck, Der Wärmeübergang in einem wagerechten Rohr beim Kondensieren von Heiß- und Sattdampf. *Zeitschr. d. Ver. d. Ing.* **73.** *S. 1517. 1929.*

90. Jakob und Fritz, Die Verdampfungswärme des Wassers und das spezifische Volumen von Sattdampf zwischen 210 und 250° C. *Zeitschr. d. Ver. d. Ing.* **73.** *S. 629. 1929;* Stodola Festschrift, Verlag von Orell Füssli. *S. 289. 1929.*

91. Jakob und Kretzschmer, Die Durchflußzahlen von Normaldüsen und Normalstaurändern für Rohrdurchmesser von 100 bis 1000 mm. *Zeitschr. d. Ver. d. Ing.* **73.** *S. 935. 1929.*

Private Veröffentlichungen.

92. Ebert, Quecksilberfreie Druckmesser aus Glas. *Glas und Apparat* **10.** *S. 105. 1929.*

93. Ebert, Fortschritte der Vakuumtechnik II. *Glas und Apparat* **10.** *S. 135. 1929.*

94. Erk, Über die Zähigkeit fester Körper. *Zeitschr. f. Metallkde.* **21.** *S. 185. 1929.*

95. Erk, Über den Einfluß der Oberflächenspannung auf Zähigkeitsmessungen. *Zeitschr. f. phys. Chemie* (A) **140.** *S. 309. 1929.*

96. Erk, Von der Tätigkeit des National Physical Laboratory im Jahre 1928. *Zeitschr. d. Ver. d. Ing.* **73.** *S. 1796. 1929.*

97. Fritz, Fortschritte der Wärmeforschung. *Archiv f. Wärmewirtschaft* **10.** *S. 196. 1929.*

98. Hoffmann, Mitarbeit an der 16. Auflage von Kohlrausch, Lehrbuch der praktischen Physik. 1930.

99. Jakob, Thermische Eigenschaften u. thermodynam. Vorgänge. *Zeitschr. d. Ver. d. Ing.* **73.** *S. 82. 1929.*

100. Jakob, Neue Berichte üb. wärmetechnische Forschungsarbeiten. *VDI-Nachrichten Heft 18. S. 3. 1929.*

101. Jakob, Die Notgemeinschaft der deutschen Wissenschaft und ihre Bedeutung für die technische Forschung. *Deutsche Forschung Heft 7. S. 146. 1929.*

102. Jakob, Internationale Dampftafelkonferenz in London. *VDI-Nachrichten Heft 31. S. 3. 1929.*

103. Jakob, Deutschlands Anteil an der neueren Wasserdampfforschung. *Forschungen und Fortschritte* **5.** *S. 337. 1929.*

104. Jakob, Wärmetechnische Forschungsarbeiten. *Archiv f. Wärmewirtschaft und Dampfkesselwesen* **10.** *S. 291. 1929.*

105. Jakob, Arbeiten im Ausschuß für Wärmeforschung. *Zeitschr. d. Ver. d. Ing.* **73.** *S. 1202. 1929.*

106. Jakob, Die Tätigkeit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt im Jahre 1928. *Zeitschr. d. Ver. d. Ing.* **73.** *S. 1570. 1929.*

107. Otto, Thermische Zustandsgrößen der Gase bei mittleren und kleinen Drucken. Handbuch der Experimentalphysik **8.** 2. Teil. S. 77. 1929.

## Abteilung IV.

Amtliche Veröffentlichungen.

108. Dziobek und Pirani, Normung von Signalgläsern. *Proc. Internat. Congress on Illumination 1928. S. 818. 1929.*

109. Engelhardt und Gehrcke, Über die kombinierende Tätigkeit beim Hören von Silben und Texten. *Zeitschr. f. Psychol.* **111.** *S. 257. 1929.*

110. Lau, Entladungsrohr für photometrische Messungen, insbesondere im Ultraviolett. *Proc. Internat. Illumination Congress 1928. 1929.*

111. Lau und Reichenheim, Untersuchungen über Gasentladung in Wasserstoff. I. *Ann. d. Physik* (5) **3.** *S. 840. 1929.*

112. Müller und Frisch, Über die Realisierung der Warburgschen Lichteinheit. *Proc. Internat. Congress on Illumination 1928. 1929.*

113. Müller, Über die Realisierung einer rationellen Lichteinheit mit Hilfe absoluter Messung der Gesamtstrahlung. *Proc. Internat. Congress on Illumination 1928. 1929.*

114. Schönrock und Einsporn, Interferometrische Methode zur Untersuchung von Stahlkugeln auf ihre Gestalt sowie zur Prüfung der Hertzschen Druckgleichungen. *Zeitschr. f. Instrkde.* **49.** *S. 317 u 369. 1929.*

Private Veröffentlichungen.

115. Engelhardt und Gehrcke, Über die Vokale. *Zeitschr. f. techn. Phys.* **10.** *S. 563. 1929.*

116. Lau, Über den Zusammenhang von optischer und akustischer Wahrnehmung. *Psychotechn. Zeitschr.* **4.** *S. 15. 1929.*

117. Lau, Bericht über den 11. Kongreß der Gesellschaft für experimentelle Psychologie. *Psychotechn. Zeitschr.* **4.** *S. 108 u. 138. 1929.*

118. Müller, Mitarbeit am Handbuch der Experimentalphysik, Bd. 9, 1929.

119. Schönrock, Mitarbeit an der 16. Auflage von Kohlrausch, Lehrbuch der praktischen Physik. 1930.

---

# Untersuchungen über Unterkühlungs- und Veränderungserscheinungen an verschiedenen Thermometerflüssigkeiten.

Von

**Dr. Walter Grundmann** in Breslau.

(Mitteilung aus dem meteorologischen Observatorium in Breslau-Krietern.)

In einem Aufsatz „Ein interessantes Experiment anläßlich der Frostperiode vom 10.—12. Februar“[1] führte ich u. a. aus, daß die während dieser Zeit mittels Six-Thermometern in Schlesien gemachten Temperaturmessungen sehr unzuverlässig und daß auch die mit gewöhnlichen Quecksilber-Thermometern gewonnenen Beobachtungen teilweise falsch oder zumindest mit größter Vorsicht zu verwenden waren. Es handelte sich dabei besonders um die seitens der Beobachter gemachten Angaben über Temperaturen unter $-30^0$ bzw. $-39^0$.

Als vorläufiges Argument gegen die mit Six-Thermometern erhaltenen Temperaturdaten führte ich die bei tiefen Temperaturen hier häufiger beobachtete Veränderlichkeit der bei diesen Thermometern verwendeten Indikatorflüssigkeit Kreosot an. Gegen die mit Quecksilberthermometern erhaltenen Werte sprach, daß Quecksilber bei etwa $-39^0$ erstarrt und außerdem der größte Teil der verwendeten Thermometer eine Skala besaß, die nur bis $-30^0$, bzw. $-35^0$ hinabreichte, so daß die Beobachtungen zwischen diesem Ende der Skala und dem Festpunkt des Quecksilbers auf bloßer Schätzung beruhten.

Auf Grund des eingangs zitierten Aufsatzes erhielt ich aus der Reihe der Fachkollegen Anfragen und Mitteilungen, die mich dazu veranlaßten die seinerzeit geäußerten Ansichten durch entsprechende Untersuchungen zu erhärten, und darüber hinaus die Brauchbarkeit der mit Kreosot arbeitenden Thermometer Sixscher Konstruktion überhaupt zu prüfen. Nachstehend sind die von mir angestellten Beobachtungen und Versuche über mögliche Unterkühlungserscheinungen bei Quecksilber und über Veränderungserscheinungen bei den verschiedenen Kreosoten nebst deren Ergebnisse wiedergegeben.

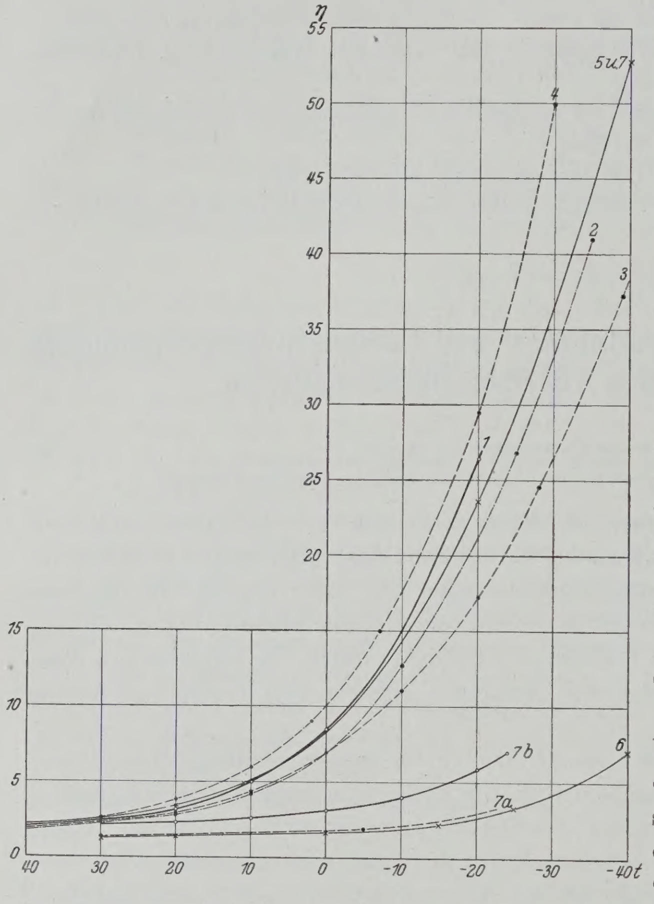
1. Mehrere Quecksilber-Thermometer verschiedener Herstellungsfirmen wurden in einem Alkoholtemperaturbad abgekühlt; die Abkühlungsgeschwindigkeit im kritischen

---

[1] Walter Grundmann, *Wetter 1929, Heft 6, S. 186 u. f.*

Bereich (von etwa —35° ab) betrug im Mittel 0,15° pro Minute. Bei —35° wurde zwecks völliger Temperaturangleichung längere Zeit verweilt. Das Bad besaß zwecks besserer Durchmischung an den beiden schmalen Gefäßseiten je ein Schaufelrad, das während des Abkühlungsprozesses in Rotation versetzt wurde. Die Geschwindigkeit wurde so gewählt, daß keine stärkere Bewegung in der Kühlsubstanz auftrat, infolgedessen auch die hineingetauchten Thermometer nur schwach bewegt wurden. Dabei konnte das Quecksilber in einem Fall um etwas mehr als 3° unterkühlt werden, so daß es also erst unter minus 42° erstarrte. Eine Unterkühlung des Quecksilbers um 1,5 bis 2,0° war mit der vorhandenen Apparatur verhältnismäßig leicht zu erzielen. Als Vergleichsthermometer wurden Toluolthermometer benutzt, die von der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt in Charlottenburg geeicht waren. Man hat dort[1] Quecksilberunterkühlungsversuche an Six-Thermometern durchgeführt[2] und dabei in einem gerührten Flüssigkeitsbad, in dem das betreffende Thermometer kleinen Erschütterungen ausgesetzt war, Unterkühlung des Quecksilbers bis zu 2,5° festgestellt. Die Abkühlungsgeschwindigkeit betrug dabei etwa 0,1° pro Minute.

Voraussetzung für derartige Unterkühlungen ist naturgemäß, daß das Quecksilber keine Fremdstoffe, wie Amalgame und Oxyde enthält. Sehr sorgsam gereinigtes Quecksilber dürfte sich bei vollkommen erschütterungsfreier (?) Aufstellung noch weiter unterkühlen lassen.




2. Nach dem strengen Frost im Februar 1929, der stellenweise Temperaturen bis etwa —38° brachte, gingen dem Meteorologischen Observatorium Breslau-Krietern von schlesischen Beobachtern ca. 15—20 Thermometer Sixscher Konstruktion zwecks Umtausch zu, die in der Indikatorflüssigkeit Kreosot mehr oder minder große Gasblasen aufwiesen, und infolgedessen für weitere Messungen unbrauchbar geworden waren. Da derartige Erscheinungen vorher nicht beobachtet waren, lag die Vermutung nahe, daß gerade die diesjährigen, außergewöhnlich tiefen Temperaturen die Ursache für die Zerstörung der Thermometer abgegeben hatten. Um hierüber Gewißheit zu erlangen, setzte ich zwei unbeschädigte Max-Min-Thermometer Sixscher Bauart im Temperaturbad einer Temperatur t = — 39° C aus. Dabei stellten sich tatsächlich

[1] Die Physikalisch-Technische Reichsanstalt teilte mir dies auf Anfrage dankenswerterweise mit.

[2] Gasblasen im Kreosot wurden dabei nicht beobachtet.

bei beiden Thermometern im linken Schenkel der Kapillaren deutlich sichtbare Gasblasen ein, die eine Länge von etwa 5—7 mm besaßen. Eine auf diese Beobachtungen gegründete Umfrage bei einer Anzahl Thermometer-Fabriken ergab kein befriedigendes Ergebnis.

Ich untersuchte nunmehr die Kreosote von 6 Firmen so wie sie von diesen zur Füllung der Six-Thermometer benutzt werden. Außerdem wurde ein von einer hiesigen Drogerie bezogenes Kreosot in die Untersuchung mit einbegriffen, da zwei Thermometerfabrikanten erklärten, daß sie das handelsübliche Buchenholz-Kreosot, wie es von jeder Apotheke oder Drogerie zu beziehen ist, von ihnen ohne jegliche Veränderung zur Füllung der Thermometer verwendet wird. Im ganzen wurden also 7 Kreosote untersucht, die im folgenden stets benummert aufgeführt werden.

a) die spezifische Gewichtsbestimmung der einzelnen Kreosote ergab z. T. von einander abweichende Werte. Im allgemeinen (mit Ausnahme von 6) lag die Dichte etwas über 1.

b) Der Versuch, die Festpunkte der einzelnen Kreosote zu ermitteln, schlug fehl, weil die Kreosote 1 bis 5 und Kreosot 7 bei Temperaturen unter $-20^0$ sehr zähflüssig wurden und bei sinkenden Temperaturen eine schnelle Zunahme der inneren Reibung zeigten, ohne daß es möglich war, bei diesem stetigen Übergang den genauen Festpunkt zu bestimmen. Unter $-40^0$ zeigten die vorbenannten Kreosote im Reagenzglas keine Tropf- oder Fließbarkeit mehr. Die Firma Merck-Darmstadt teilt mit, daß der Erstarrungspunkt des von ihnen durch Destillation aus Buchenholzteer gewonnenen Kreosots, das auch von Thermometerfabriken benutzt wird, unter $-20^0$ liegt.

c) Um ein besseres Bild der Abhängigkeit der inneren Reibung von der Temperatur zu bekommen, stellte ich nach dem Poiseuilleschen Gesetz die jeweiligen Viskositätswerte $\eta$ fest, die in Tabelle 1 und graphisch in der Abbildung dargestellt sind.

Tabelle 1.

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Kreosot Nr. 1 | t | 40° | 30° | 20° | 10° | 0° | −20° | −42° | | |
| | $\eta$ | 2,0 | 2,4 | 3,1 | 4,91 | 8,4 | 26,45 | ∞ | | |
| „ „ 2 | t | 40° | 30° | 20° | 10° | 0° | −10° | −25° | −35° | |
| | $\eta$ | 1,77 | 2,24 | 2,8 | 4,25 | 7,0 | 12,68 | 26,83 | 41,1 | |
| „ „ 3 | t | 40° | 30° | 20° | 10° | 0° | −10° | −20° | −28° | −39° |
| | $\eta$ | 1,89 | 2,3 | 2,9 | 4,36 | 6,92 | 11,08 | 17,27 | 24,53 | 37,15 |
| „ „ 4 | t | 40° | 30° | 20° | 10° | 2° | −7° | −20° | −30° | |
| | $\eta$ | 2,2 | 2,71 | 3,8 | 5,96 | 9,0 | 15,0 | 29,48 | 49,9 | |
| „ „ 5 | t | 40° | 30° | 20° | 11° | 0° | −10° | −20° | −40° | |
| | $\eta$ | 2,1 | 2,56 | 3,35 | 4,9 | 8,46 | 14,8 | 23,63 | 52,8 | |
| „ „ 6 | t | 30° | 20° | 15° | 0° | −15° | −25° | −33° | −40° | |
| | $\eta$ | 1,2 | 1,36 | 1,5 | 1,65 | 2,16 | 3,33 | 5,07 | 7,0 | |
| „ „ 7 | t | 30° | 20° | 10° | 0° | −10° | −20° | −26° | | |
| | $\eta$ | 2,6 | 3,33 | 5,1 | 8,42 | 14,70 | 23,2 | 32,1 | | |
| „ „ 7a | t | 30° | 20° | 10° | 2° | −5° | −20° | −22° | | |
| | $\eta$ | 1,32 | 1,48 | 1,61 | 1,72 | 1,93 | 2,9 | 3,4 | | |
| „ „ 7b | t | 30° | 20° | 10° | 0° | −10° | −20° | −24° | | |
| | $\eta$ | 2,1 | 2,31 | 2,62 | 3,15 | 4,0 | 5,96 | 7,1 | | |

Sämtliche Werte sind auf destilliertes Wasser vom Leitvermögen $\lambda = 25 \times 10^{-6}$ und der Temperatur $t = 20^0$ als Einheit bezogen. Man erkennt deutlich, daß mit

Ausnahme von 6 und der später zu besprechenden Werte von 7a und 7b sämtliche hier untersuchten Kreosote ein ähnliches Verhalten zeigen. Bereits bei $-10^0$ liegen die Werte für die Viskosität über 11, bei $-20^0$ bereits zwischen 20 und 30. In dem hier besonders in Betracht kommenden Bereich von $-30^0$ bis unter $-40^0$ steigen die Viskositätswerte teilweise von etwa 34 bis auf 53 (siehe 2, 5 u. 7), bei 1 und 4 sogar von ungefähr 50 bis auf $\infty$, d. h. diese beiden Kreosote scheinen in diesem Temperaturbereich bereits fest zu werden, oder doch eine Struktur anzunehmen, die dem festen Aggregatzustand sehr ähnlich ist. Ganz anders dagegen 6. Selbst bei $-72^0$ zeigt dieses Kreosot noch unverkennbar flüssigen, wenn auch zähflüssigen Charakter. Die betreffende Firma teilt nachträglich mit, daß — wie zu erwarten war — das von ihr verwandte Kreosotöl Nr. 6, eine Mischung von Kreosot und abs. Alkohol darstellt. 5 und 7 sind sicherlich identisch, wie aus der Viskositätstabelle und den völlig gleichen spezifischen Gewichten sich zu ergeben scheint.

Wegen der in den einzelnen Temperaturbereichen stark veränderten Viskositäten ist bei Verwendung der Six-Thermometer zu Augenblicksmessungen auch die damit verbundene Veränderlichkeit der Trägheit: $k = \Delta : \frac{dt}{d\tau}$ zu beachten. $\frac{dt}{d\tau}$ ist nach dem Newtonschen Abkühlungsgesetz die Änderungsgeschwindigkeit des Thermometers, die der augenblicklichen Temperaturdifferenz $t$ gegenüber der zu messenden Umgebung proportional ist, wenn die Struktur der Thermometerflüssigkeit sich in dem in Frage gezogenen Temperaturbereich nicht ändert. $\Delta$ stellt die Differenz zwischen der tatsächlich herrschenden und der vom Thermometer in einem bestimmten Augenblick angegebenen Temperatur dar.

Diejenige Thermometerfabrik, die u. a. das Kreosot 7 verwendet, stellte noch zwei weitere, von ihr als Thermometerfüllung benutzte Mischungen zur Untersuchung zur Verfügung, und zwar:

$\alpha$) Eine Mischung Kreosot 7 mit 50% abs. Alkohol.

$\beta$) " " " 7 " 25% destilliertem denaturierten Spiritus.

$\frac{d\eta}{dt}$ dieser beiden Mischungen zeigen die Kurven 7a und 7b der Abbildung.

d) Um das Verhalten der einzelnen Kreosotproben in bezug auf Veränderungserscheinungen bei tiefen Temperaturen feststellen zu können, wurden die Kreosote in ihrem eigenen Dampf in etwa 1,75 $cm^3$ fassende Ampullen aus Jenaer Glas, die zuvor längere Zeit in destilliertem Wasser auf $100^0$ erhitzt waren, eingeschmolzen.

Die gefüllten und zugeschmolzenen Ampullen wurden sodann auf $20^0$ erwärmt und der genaue Stand des Kreosots in der Ampullenkapillaren durch eine Eichmarke fixiert. Danach wurden sie im Temperaturbad bis auf $-42^0$ abgekühlt. Nach einer langsamen Erwärmung bis auf $-38^0$ (in ca. 15 Min.) wurde diese Temperatur etwa $^1/_2$ Stunde hindurch annähernd konstant gehalten. Anschließend überließ ich das Kühlbad mit den eingetauchten Ampullen sich selbst, so daß sie sich wieder langsam erwärmten. Nach 24 Stunden wurden die Ampullen wieder auf $20^0$ gebracht und der Stand des Kreosotniveaus festgestellt.

Ergebnis: Die Kreosote 1, 3, 4, 5 und 7 erreichten die Eichmarke bei weitem nicht mehr; um den Meniskus wieder bis zur Eichmarke zu heben, mußten 3, 5 und 7 auf über $25^0$, 1 und 4 sogar auf über $27^0$ erwärmt werden. 2 und 6 hingegen stellten sich bei $20^0$ wieder genau auf die Eichmarke ein. Bei diesem Versuch spielt die eventuelle Hebung des Niveaus wegen der langsameren Ausdehnung des Glases, die übrigens nur sehr gering sein kann, keine Rolle.

In Verbindung mit den an den beiden laboratoriumsmäßig gekühlten und den an ca. 15 bis 20 nach hier eingesandten Thermometern gemachten Beobachtungen ist damit wohl als erwiesen anzusehen, daß tatsächlich die meisten Kreosote bei tiefen Temperaturen einer für die Meßgenauigkeit sehr nachteiligen Veränderung (Abscheidung von Gasen) unterliegen[1]. In den Ampullen war es offenbar hauptsächlich der Dampfdruck des abgeschiedenen und in den obersten Teil der Kapillaren gelangten Gases, der die Kreosote daran hinderte, wieder zur Eichmarke aufzusteigen.

Eine Wiederholung des oben geschilderten Versuchs mit frischen Kreosotölen der Nr. 1 und 5, wobei aber nur bis — 35° gekühlt wurde, zeitigte quantitativ dasselbe Ergebnis. Bei einer längeren Abkühlung bis auf — 26° zeigte dagegen nur das Kreosotöl Nr. 1 eine geringe, aber doch deutlich erkennbare Gasabscheidung.

Nach R. Avenarius[2] bestehen die aus Braunkohlenteer gewonnenen Kreosotöle aus den folgenden Stoffen (Tabelle 2):

Tabelle 2.

| Stoff | Festpunkt ° | Siedepunkt ° |
|---|---|---|
| o-Kresol ........ | 31 | 188 |
| m-Kresol ........ | 4 | 201 |
| p-Kresol ........ | 36 | 198 |
| 1-4-5-Xylenol..... | — | — |
| 1-3-4-Xylenol..... | 26 | 211 |
| 1-2-4-Xylenol..... | 65 | 225 |
| Pseudocumenol... | 73 | 232 |

Das Kreosot DAB 6 der Chemischen Fabrik E. Merck[3] besteht aus Kreosol, Kresolen und dem Monomethyläther des Brenzkatechins, dem Guajacol. Der Siedepunkt dieser Mischung liegt bei ca. 210°.

Selbst wenn man berücksichtigt, daß der Festpunkt einer Mischung und Lösung tiefer liegt als derjenige, der daran beteiligten Einzelkomponenten, so ergibt sich doch bereits aus den Angaben von Avenarius die Wahrscheinlichkeit, daß die Verwendung von reinem Kreosotöl als Thermometerflüssigkeit für tiefe Temperaturen höchst proplematisch ist. Die Viskositätswerte beweisen zur Genüge, daß tatsächlich der größte Teil der für diesen Zweck zur Verwendung gelangenden Kreosote bei tiefen Temperaturen gänzlich versagen muß. Ich weise darauf hin, daß mir Six-Thermometer zur Beobachtung und Eichung vorgelegen haben, die mit einer bis — 45° (!) hinabreichenden Skala ausgerüstet waren. Nach den bisherigen Versuchsergebnissen dürfte aber eine Skala und eine Verwendung dieser Thermometerart bis — 30° das höchstmögliche Zugeständnis darstellen, wenn nicht ganz besonders behandelte Kreosote zur Füllung benutzt werden, wie z. B. Kreosot 6. Aber auch bei Thermometern, die mit diesem Kreosot gefüllt sind, kommt eine Verwendung für Temperaturen unter — 39° wegen der Erstarrung des Quecksilbers nicht mehr in Frage.

Auf Grund der von Avenarius und Merck gegebenen Zusammensetzung erscheint es auch ausgeschlossen, daß die Kreosote bei tiefen Temperaturen eine Zersetzung erfahren. Gegen die Annahme einer Zersetzungserscheinung sprechen auch die kontinuierlich verlaufenden Viskositätskurven. Würden Zersetzungen, also stoffliche Veränderungen, bei bestimmten Temperaturen einsetzten, so müßten die Kurven an diesen Stellen wegen der mit der Zersetzung verbundenen Änderung der inneren Rei-

[1] An einem Kreosot, das einem zerbrochenen Six-Thermometer unbekannter Herkunft entnommen und in eine oben offene Thermometer-Kapillare gebracht war, konnte nach Abkühlung auf — 39° ebenfalls eine kleine Gasblase nachgewiesen werden, die durch Aufperlen wieder aus der Kapillare verschwand.

[2] R. Avenarius, Über Braunkohlenteere, ihre Aufarbeitung und Inhaltsstoffe II, Die Kreosotöle des Braunkohlenteers. *Zeitschr. f. angew. Chem.* ***36.*** *16. S. 168. 1923.*

[3] Die Chemische Fabrik E. Merck teilte mir dies auf Anfrage mit.

bung Diskontinuitäten aufweisen. Meines Erachtens kann es sich bei der beobachteten Gasabscheidung nur um irgendwelche „Gashydrate“ handeln, die im Kreosot zuvor gelöst waren — wahrscheinlich noch vom Gewinnungsprozeß, der trockenen Destillation her — und durch die Abnahme der Lösungstension mit sinkender Temperatur nunmehr frei werden. Für diese Annahme spricht, daß ein bereits „ausgefrorenes“ Kreosot von neuem in eine Ampulle eingeschmolzen und wie oben geschildert behandelt eine weitaus geringere Depression zeigt, als ehedem. Dieser Befund gibt einen wichtigen Fingerzeig. Vielleicht ist es nämlich möglich, durch häufigeres und vor allem genügend langes „Ausfrieren“ der Kreosote die Gasabscheidung bei tiefen Temperaturen zu beseitigen. Bei einem Max.-Min.-Sixthermometer der Fa. Nr. 7, das durch Eintauchen in ein Temperaturbad von unter $-40^0$ schnell und nur ganz kurz auf $-38^0$ abgekühlt wurde — diese Temperatur zeigte es vor dem Herausnehmen aus dem Bade selbst an — schied das Kreosotöl noch keine sichtbare Gasblase ab, während nach einer Dauerabkühlung zwischen $-36^0$ bis $-32^0$ eine mehrere Millimeter lange Gasblase im linken Schenkel festgestellt werden konnte.

Die bei tiefen Temperaturen störenden hohen Viskositätswerte lassen sich durch einen entsprechenden Alkoholzusatz herabmindern. Am besten eignet sich dazu wohl Methylalkohol wegen seiner äußerst geringen Viskosität.

Bei Verwendung gut ausgefrorenen und mit Alkohol versetzten Kreosots (etwa im Verhältnis 1 : 1) könnte man möglicherweise zu einem befriedigenden Ergebnis gelangen[1].

Die Kreosote 7a und 7b zeigen bei Abkühlung in Ampullen unter $-30^0$ ebenfalls, wenn auch naturgemäß wegen der im gleichen Volumen kleineren Kreosotmenge geringere Gasabscheidung. Es ist dies ein Beweis dafür, daß auch der zugesetzte Alkohol bzw. Spiritus nicht die Fähigkeit besitzt, die Lösungstension der Mischung wesentlich zu erhöhen.

e) Kreosot ist schwach hygroskopisch. Es war folglich auch die Annahme möglich, daß durch unverschlossene Aufbewahrung und beim Füllen der Thermometer in sehr feuchter Luft Wasser aufgenommen wird, das im Verhalten des Kreosots gegenüber dem „trockenen“ Kreosot eine Veränderung hervorrufen könnte. Um auch diesen Fall näher zu untersuchen, setzte ich die beiden Kreosote 2 und 3 auf Uhrgläsern im Bongardsschen Hygrometer-Prüfgerät während etwa einer Stunde einem über 95% relative Feuchtigkeit führenden Luftstrome aus. Dem Kreosot 1 und einer weiteren Probe von 2 mischte ich auf 10 ccm je 0,5 ccm Wasser bei und schüttelte kräftig um. Die auf diese Weise erhaltenen Mischungen, die instabile Emulsionen darstellen, wurden wiederum in Ampullen eingeschmolzen und, wie unter d) beschrieben, behandelt.

Ergebnis: Die Kreosote 2 und 3, die nur durch ihre Hygroskopie wasserhaltig geworden sind, zeigten keine sichtbaren Eiskristalle und verhielten sich genau so, wie ohne Wasser. Dagegen wiesen die mit einem Wasserzusatz versehenen Kreosote 1 und 2 an der Oberfläche Eiskristalle auf. Im übrigen verhielten sie sich aber in bezug auf Gasabscheidung auch wieder genau so, wie die gleichen Kreosote ohne Wasserzusatz.

Kreosot und Wasser entmischen sich verhältnismäßig schnell, und zwar scheidet sich das Wasser, bzw. das Eis wegen seines geringeren spezifischen Gewichts an der Oberfläche ab. Bringt man gut durchmischtes „Wasser-Kreosot“ sofort in eine enge

---

[1] Das Thüringische Landesamt für Maß und Gewicht teilte mir mit, daß dort zurzeit versucht wird, das günstigste Mischungsverhältnis Kreosot + Alkohol festzustellen.

Thermometerkapillare, so daß also das Ganze keine Zeit bekommt sich völlig zu entmischen, und kühlt schnell auf tiefe Temperaturen ab, dann kann allerdings der Fall eintreten, daß die noch im Kreosot befindlichen Wassertröpfchen gefrieren und die Kapillare verstopfen. Im Gebrauch der Thermometer mit „Wasser-Kreosot"-Füllung könnte dieser Fall möglicherweise dann eintreten, wenn sie vor der Abkühlung auf Temperaturen unter Null vorschriftswidrig während längerer Zeit auf den Kopf gestellt waren, so daß Wasser in die Kapillare gelangen konnte; im rechten Schenkel eventuell aber auch schon durch kräftiges Schleudern und Schütteln. Dabei ist weiterhin zu beachten, daß die für „trockene" Kreosotöle aufgestellte Eichskala bei Wasserzusatz, auch bei Temperaturen über Null, nicht mehr richtig ist. Es ist deshalb erforderlich, daß die Kreosotöle vor der Einfüllung in die Thermometer einem Destillationsprozeß unterworfen werden, um das Wasser zu entfernen.

f) Umfärbungen des Kreosots durch Sonnenbelichtung konnten hier nicht beobachtet werden.

Erwähnenswert ist noch, daß die dem hiesigen Observatorium von den Beobachtern eingesandten Six-Thermometer mit Glasblasen von der Herstellungsfirma stets kostenlos gegen neue eingetauscht wurden. Auf Befragen teilt die betr. Firma mit, daß sie die Gasblasen dadurch entfernt, daß sie sie aus dem linken Kapillarschenkel nach rechts in das luftgefüllte Gefäß bringen. Eine Vermeidung des Auftretens von Gasblasen bei tiefen Temperaturen ist ihr trotz jahrelanger Versuche noch nicht gelungen. Gegen die oben angegebene „Wiederbrauchbarmachung" der gashaltigen Thermometer ist einzuwenden, daß durch Gasvermehrung in dem der rechten Kapillare aufgesetzten luftgefüllten Gefäß, die noch beträchtlich durch die Gasabscheidung auf der rechten Seite verstärkt wird, ein erhöhter Dampfdruck erzeugt wird, der eine Neueichung unbedingt erforderlich macht.

## Zusammenfassung.

1. Das Quecksilber in Quecksilberthermometern wurde um 2 bis $3^0$ unterkühlt.

2. Es wurden die Viskositätskonstanten einiger Kreosote mit und ohne Alkoholzusatz in Abhängigkeit von der Temperatur bestimmt und dadurch festgestellt, daß die Kreosote ohne Zusatz unter $-20^0$ bzw. $-30^0$ wegen der großen inneren Reibung nicht mehr als Indikatorflüssigkeit zu verwenden sind.

3. Die weitaus meisten Kreosotöle zeigen bei Temperaturen unter $-30^0$ Gasabscheidungen, die sie als Thermometerflüssigkeit für tiefere Temperaturen ungeeignet machen.

4. Es wird angegeben, wie möglicherweise eine Vermeidung zu hoher Viskositäten und der Gasabsonderung zu erzielen ist.

## Schlußbemerkung.

Ein Teil der in der Meteorologie gebräuchlichen Minimum-Thermometer enthält als Indikatorflüssigkeit Amylalkohol (Fuselöl: $C_5H_{11}OH$), der ein Gemisch von acht möglichen Isomeren darstellt, dessen spez. Gew. bei etwa 0,83 und dessen Siedepunkt bei $137^0$ liegt. Unter der Voraussetzung, daß nur ein absolut reines Destillat dieses Alkohols zur Verwendung gelangt, dürften sich bei solchen Thermometern Gasabscheidungen oder sonstige Veränderungserscheinungen nicht zeigen. Ein von der Fa. Fueß Berlin-Steglitz zur Untersuchung zur Verfügung gestellter Amylalkohol, wie er zur Füllung der Thermometer benutzt werden soll, zeigte selbst bei Dauerabkühlung

auf unter $-40^0$ keinerlei sichtbare Veränderungen. Die bei solchen Thermometern zuweilen zu beobachtenden Lücken im Alkoholfaden entstehen durch Abreißen des Fadens infolge von Stoß u. dgl. und haben mit „Gasblasen" nichts zu tun.

Dasselbe gilt auch für die mit Toluol gefüllten Thermometer.

Die bei Alkohol-Minimum-Thermometern mitunter festzustellenden Nullpunktsdepressionen sind nach Higgins und Bilham[1] nur darauf zurückzuführen, daß der benutzte Alkohol Fremdstoffe wie z. B. Aceton enthielt.

Herrn Direktor Feige vom Observatorium Krietern sei für die Bereitstellung der Mittel herzlichst gedankt.

---

# Über die Bestimmung periodischer Fehler von Meßschrauben.

Von

**Arnold Kohlschütter** in Bonn.

Die von Bessel ausgebildeten klassischen Methoden zur Untersuchung von Meßschrauben müssen noch immer als unübertroffen gelten, wenn es sich darum handelt, eine Meßschraube bis zur äußersten Genauigkeit mit aller Sorgfalt zu untersuchen[2]. Eine Wandlung gegenüber Bessels Zeiten ist aber insofern eingetreten, als die Herstellung von Meßschrauben soweit vervollkommnet wurde, daß die reinen Schraubenfehler häufig (im Hinblick auf andere nicht zu vermeidende Unsicherheiten) vernachlässigt werden können. Es kommt daher oft nicht mehr darauf an, die Schraubenfehler (insbesondere denke ich hier an die periodischen Fehler) genau zu bestimmen, um sie nachträglich rechnerisch anbringen zu können, sondern nur darauf, festzustellen, ob Fehler bis zu einem bestimmten Betrage vorhanden sind oder nicht. Zudem gewinnt das gesunde Prinzip, das nicht angelegentlich genug empfohlen werden kann, mehr und mehr an Boden, die Messungen so anzuordnen, daß zu befürchtende Fehler von selbst bei Mittelbildungen herausfallen. Als Beispiel hierfür in bezug auf periodische Schraubenfehler sei der von Küstner gemachte Vorschlag erwähnt, der bei den hiesigen Messungen für das Zonenunternehmen der Astronomischen Gesellschaft durchgeführt wird: Im Fadennetz sind zwei Fäden im Abstand einer halben Umdrehung der Meßschraube angebracht, der zu messende Stern wird auf jeden der beiden Fäden eingestellt, das Mittel von diesen beiden Einstellungen ist frei von den periodischen Fehlern erster Ordnung.

Die klassische Besselsche Methode, die periodischen Fehler zu bestimmen, besteht darin, ein festes Intervall wiederholt mit der zu untersuchenden Schraube auszumessen, indem man jedesmal das Intervall um einen Bruchteil einer Schraubenumdrehung weiterschiebt. Die günstigsten Längen des festen Intervalles sind: für die Bestimmung der Fehler erster Ordnung das 0,5 fache der Ganghöhe der Schraube, für die Fehler zweiter Ordnung das 0,25 fache und für die Fehler erster und zweiter Ordnung zusammen das 0,31- oder 0,69 fache der Ganghöhe. Dies Verfahren erfordert einen beträchtlichen Aufwand an Meß- und Rechenarbeit.

---

[1] F. W. Higgins und E. G. Bilham, *Changes of Zero in Spirit Thermometers. Professional Notes 51, Meteorological Office London 1929.*

[2] Eine erschöpfende, sehr klare Darstellung dieser klassischen Methoden, soweit sie periodische Fehler betreffen, ist von Rosenberg (*diese Zeitschr.* **22.** *S. 246. 1902*) gegeben. Für die übrigen klassischen Methoden von Schraubenuntersuchungen findet man in Ambronns Instrumentenkunde eine kurze klare Darstellung.

Wesentlich einfacher und meist zweckmäßiger ist ein von Herrn Mecke vorgeschlagenes Verfahren[1]. Er schlägt vor, an Stelle des Verschiebens des festen Intervalles einen Maßstab zu benutzen, der in Bruchteile (etwa 10) einer Schraubenumdrehung geteilt ist. Der Maßstab wird fortlaufend mit der zu untersuchenden Meßschraube ausgemessen. Wäre der Maßstab fehlerfrei, so wären durch eine solche Messung die gewünschten Werte der periodischen Fehler der Schraube bereits gegeben. Herr Mecke setzt nun voraus, daß der Maßstab nur gewisse periodische Fehler hat, und eliminiert bzw. erkennt diese, indem er eine zweite Durchmessung des Maßstabes ausführt, nachdem der Maßstab um $180^0$ gedreht ist. Die Auswertung der Messungen führt Herr Mecke graphisch durch.

Im folgenden möchte ich ein Verfahren vorschlagen, das gegenüber dem des Herrn Mecke den Vorteil hat, keinerlei Voraussetzungen über die Fehler des Maßstabes zu verlangen. Es ist ohne weiteres ersichtlich, daß bei der Methode des Herrn Mecke alle Strichfehler des Maßstabes, die symmetrisch zu seiner Mitte auftreten, voll in das Resultat eingehen, dieses verfälschen, und nicht erkannt werden können. Bei dem im folgenden zu schildernden Verfahren werden dagegen die Strichfehler des Maßstabes ohne irgendwelche Annahmen über die Güte des Maßstabes einwandfrei mitbestimmt. Ohne alle Voraussetzungen kann es aber natürlich bei einer kurzen einfachen Methode nicht gehen, diese werden jetzt auf die zu untersuchende Schraube geworfen, indem angenommen wird, daß ihre periodischen Fehler von einer bestimmten, frei wählbaren, höheren Ordnung an vernachlässigt werden können.

Die Messung wird folgendermaßen ausgeführt: Der in Bruchteile einer Schraubenumdrehung (wir nehmen Zehntel an) geteilte Maßstab wird — durch eine volle Umdrehung hindurch — mit der zu untersuchenden Schraube fortlaufend ausgemessen. Dann wird der Maßstab um 0,5 Revolutionen verschoben und wieder durchgemessen. Die Messung ist hiermit beendet, falls man annehmen kann, daß die periodischen Fehler zweiter Ordnung der Schraube vernachlässigt werden können. Ist zu befürchten, daß die Fehler zweiter Ordnung noch merklich sind, so werden zwei weitere Durchmessungen ausgeführt, indem der Maßstab um 0,25 und 0,75 Revolutionen von der Ausgangsstellung verschoben ist. Damit dürfte in allen Fällen die Messung erledigt sein, denn periodische Fehler dritter und höherer Ordnung kommen bei neuzeitlichen Schrauben nicht mehr in Frage.

Die Darstellung der Methode durch Formeln sieht folgendermaßen aus. Es seien $\psi_0, \psi_1, \ldots, \psi_{10}$ die Trommelablesungen bei den 11 Einstellungen einer Durchmessung des in 10 Teile geteilten Maßstabes. Die Länge des ganzen Maßstabes ist dann $\psi_{10} - \psi_0$, ausgedrückt in den Einheiten der Skala der Trommel. Die Strichkorrekturen der einzelnen Striche des Maßstabes seien $s_0, s_1, \ldots, s_{10}$, die Korrekturen der Meßschraube für periodische Fehler an 10 äquidistanten Stellen einer Umdrehung seien in analoger Zählung $\varphi_0, \varphi_1, \ldots, \varphi_{10}$, wobei offenbar $\varphi_{10} = \varphi_0$ ist. Bezeichnen wir noch mit $C$ eine Konstante, die von der zufälligen Lage des Maßstabes abhängt, so liefern die 11 Einstellungen die Gleichungen

$$\begin{aligned}
\psi_0 + \varphi_0 &= \tfrac{0}{10}(\psi_{10} - \psi_0) + s_0 + C\,,\\
\psi_1 + \varphi_1 &= \tfrac{1}{10}(\psi_{10} - \psi_0) + s_1 + C\,,\\
&\cdots\cdots\cdots\cdots\\
\psi_{10} + \varphi_{10} &= \tfrac{10}{10}(\psi_{10} - \psi_0) + s_{10} + C\,.
\end{aligned}$$

[1] R. Mecke, Eine einfache Methode zur Bestimmung des periodischen Fehlers von Mikrometerschrauben. *Diese Zeitschrift* **42.** *S. 147—151. 1922.*

Wir können willkürlich $s_0 = 0$ setzen, was nach der letzten Gleichung zur Folge hat, daß auch $s_{10} = 0$ ist. Die Elimination von $C$ liefert die 9 Gleichungen

$$\psi_1 - \psi_0 - \tfrac{1}{10}(\psi_{10} - \psi_0) = s_1 - (\varphi_1 - \varphi_0),$$
$$\psi_2 - \psi_0 - \tfrac{2}{10}(\psi_{10} - \psi_0) = s_2 - (\varphi_2 - \varphi_0),$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots$$
$$\psi_9 - \psi_0 - \tfrac{9}{10}(\psi_{10} - \psi_0) = s_9 - (\varphi_9 - \varphi_0).$$

Die linken Seiten dieser Gleichungen, die nur die gemessenen Werte enthalten, bezeichnen wir mit $N_1, N_2, \ldots, N_9$. Bilden wir die Mittelwerte $\overline{N}_1, \overline{N}_2, \ldots, \overline{N}_9$ aus den vier (bzw. nur zwei) verschiedenen Meßreihen, die bei Verschiebung des Maßstabes um 0,25, 0,5, 0,75 (bez. nur 0,5) Revolutionen ausgeführt sind, so sind diese Mittelwerte frei von den periodischen Fehlern $\varphi$ und man erhält die Strichfehler der Skala:

$$\begin{aligned} s_0 &= 0, \\ s_1 &= \overline{N}_1, \\ s_2 &= \overline{N}_2, \\ &\vdots \\ s_9 &= \overline{N}_9, \\ s_{10} &= 0. \end{aligned}$$

Für die Bestimmung der periodischen Fehler $\varphi$ erhält man nun vier Gleichungsreihen:

$$\begin{array}{llll} \varphi_1 - \varphi_0 = \overline{N}_1 - N_1, & \varphi_{3.5} - \varphi_{2.5} = \overline{N}_1 - N_1, & \varphi_6 - \varphi_5 = \overline{N}_1 - N_1, & \varphi_{8.5} - \varphi_{7.5} = \overline{N}_1 - N_1, \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \varphi_9 - \varphi_0 = \overline{N}_9 - N_9, & & & \\ \varphi_{10} - \varphi_0 = 0, & & & \end{array}$$

Der Nullpunkt in der Zählung von $\varphi$ ist noch willkürlich, man wird ihn durch die Bedingung $\sum\limits_1^{10} \varphi = 0$ festlegen, wodurch die vier Reihen normalisiert und miteinander vergleichbar werden. Man erhält so

$$\begin{array}{ll} \varphi_1 = \overline{N}_1 - N_1 - \frac{1}{10}\sum\limits_1^{10}(\overline{N} - N), & \varphi_{3.5} = \overline{N}_1 - N_1 - \frac{1}{10}\sum\limits_1^{10}(\overline{N} - N), \\ \vdots & \vdots \\ \varphi_{10} = \qquad - \frac{1}{10}\sum\limits_1^{10}(\overline{N} - N), & \\ \varphi_6 = \overline{N}_1 - N_1 - \frac{1}{10}\sum\limits_1^{10}(\overline{N} - N), & \varphi_{8.5} = \overline{N}_1 - N_1 - \frac{1}{10}\sum\limits_1^{10}(\overline{N} - N), \\ \vdots & \vdots \end{array}$$

wo ohne weiteres Mittelwerte aus den entsprechenden Werten verschiedener Reihen gebildet werden können.

Es sei noch hinzugefügt, daß diese Formeln ebenso gelten, wenn man unter $\psi$ nicht die Trommelablesungen selbst versteht, sondern die jedesmal um die entsprechende Normalablesung (die für jede Einstellung gelten würde, wenn alles fehlerfrei wäre) verminderten Werte. Hiervon wird man stets bei der praktischen Durchführung der Rechnung Gebrauch machen, um nur kleine Zahlen zu haben.

Um zu zeigen, wie einfach die numerische Rechnung sich gestaltet, will ich als Zahlenbeispiel eine von mir ausgeführte Messung der periodischen Fehler eines Ko-

ordinatenmeßapparates mitteilen. Der Apparat ist unter Anleitung der Herren Schorr und Dolberg in Bergedorf gebaut worden, die Meßschraube hat eine Ganghöhe von 1 mm. Als Maßstab verwandte ich eine in $\frac{1}{10}$ mm geteilte Glasskala von Zeiss. Die Skala wurde viermal durchgemessen, jedesmal um $\frac{1}{4}$ Revolution weitergeschoben. Alle Angaben sind in mm ausgedrückt.

Gemessene Werte $\psi - \psi_0$.

| | I. Lage mm | II. Lage mm | III. Lage mm | IV. Lage mm |
|---|---|---|---|---|
| 1 | + 0,0007 | + 0,0008 | + 0,0008 | + 0,0007 |
| 2 | + 6 | + 1 | + 9 | + 5 |
| 3 | − 1 | − 3 | − 2 | − 1 |
| 4 | + 4 | + 1 | + 4 | + 5 |
| 5 | + 3 | − 2 | 0 | + 3 |
| 6 | + 5 | + 4 | + 6 | + 5 |
| 7 | + 5 | + 2 | + 10 | + 4 |
| 8 | + 2 | − 2 | + 5 | + 1 |
| 9 | 0 | − 4 | 0 | − 1 |
| 10 | − 4 | − 8 | − 5 | − 6 |

Die lineare Transformation jeder Kolonne, so daß der 10-Wert Null wird, liefert:

| | I | II | III | IV | Mittel, Strichfehler der Skala |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 0,0000 |
| 1 | + 0,0007 | + 0,0009 | + 0,0008 | + 0,0008 | + 8 |
| 2 | + 7 | + 3 | + 10 | + 6 | + 7 |
| 3 | 0 | − 1 | − 1 | + 1 | 0 |
| 4 | + 6 | + 4 | + 6 | + 7 | + 6 |
| 5 | + 5 | + 2 | + 2 | + 6 | + 4 |
| 6 | + 7 | + 9 | + 9 | + 9 | + 8 |
| 7 | + 8 | + 8 | + 13 | + 8 | + 9 |
| 8 | + 5 | + 4 | + 9 | + 6 | + 6 |
| 9 | + 4 | + 3 | + 4 | + 4 | + 4 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Die noch unnormierten $\varphi$-Werte erhält man aus der Differenz Mittelwert-I, usw.

| | I | II | III | IV |
|---|---|---|---|---|
| 1 | + 0,0001 | − 0,0001 | + 0,0000 | + 0,0000 |
| 2 | 0 | + 4 | − 3 | + 1 |
| 3 | 0 | + 1 | + 1 | − 1 |
| 4 | 0 | + 2 | 0 | − 1 |
| 5 | − 1 | + 2 | + 2 | − 2 |
| 6 | + 1 | − 1 | − 1 | − 1 |
| 7 | + 1 | + 1 | − 4 | + 1 |
| 8 | + 1 | + 2 | − 3 | 0 |
| 9 | 0 | + 1 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Mittel | 0 | + 1 | − 1 | 0 |

Die Normierung der einzelnen Kolonnen $\left(\sum_{1}^{10} \varphi = 0\right)$ und die Verschiebung der Werte in der II., III. und IV. Kolonne um 0,25, 0,5 und 0,75 nach unten ergibt die endgültigen Werte der periodischen Fehler $\varphi$:

| | I | II | III | IV | Mittel mm |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | + 0,0001 | + 0,0001 | 0,0000 | − 0,0001 | 0,0000 |
| 2 | 0 | 0 | − 3 | − 1 | − 1 |
| 3 | 0 | − 1 | − 2 | − 2 | − 1 |
| 4 | 0 | − 2 | + 1 | − 1 | 0 |
| 5 | − 1 | + 3 | + 1 | + 1 | 0 |
| 6 | + 1 | 0 | + 1 | 0 | + 1 |
| 7 | + 1 | + 1 | − 2 | 0 | 0 |
| 8 | + 1 | + 1 | + 2 | 0 | + 1 |
| 9 | 0 | − 2 | + 1 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 0 | + 3 | + 1 | + 1 |

Das Resultat lautet also: Die Strichfehler der Skala erreichen merkliche Beträge (bis zu 0,9 $\mu$), dagegen liegen die periodischen Fehler der Meßschraube unterhalb der Meßgenauigkeit, sie sind jedenfalls nicht größer als 0,1 $\mu$.

Sternwarte Bonn, Januar 1930.

---

# Verkürztes Skalenfernrohr zur Messung von Winkelausschlägen.

Von
**J. Koenigsberger** in Freiburg i. Br.

Die übliche Winkelmessung der Drehung eines Spiegels mit Fernrohr und Skala nach Poggendorff verlangt relativ großen Abstand von Skala zu Apparat, um die Winkel genau zu messen, da das Fernrohr wenigstens angenähert auf unendlich eingestellt werden soll. — Um bei Tageslicht ausreichende Helligkeit und bei bestimmter Vergrößerung genügendes Gesichtsfeld zu erzielen, dürfen bestimmte Werte des Abstandes Skala-Spiegel nicht unterschritten werden. Es gibt Fälle, die eine stärkere künstliche Beleuchtung nicht wünschenswert erscheinen lassen (z. B. wegen der Störungen durch Erwärmung, wegen des magnetischen Feldes des Lampenstromes etc.), oder es gibt Fälle wo die künstliche Beleuchtung zu umständlich und großer Abstand unbequem ist, z. B. bei Feldmessungen.

Um einen großen Abstand zu vermeiden und statt dessen stärkere Vergrößerungen anzuwenden, hat man die Skala in das Okular eingebaut. Das bringt aber den Nachteil mit sich, daß nur kleine Winkelausschläge beobachtet werden können. Außerdem verdeckt dann entweder die Skala teilweise das Bild, oder man hat eine verwirrende Übereinanderlagerung von Zahlen und Strichen der Skala, die als Objekt und Bild sich überdeckt. Aus letzterem Grunde werden z. B. bei einer derartigen Konstruktion des Gaußischen Okulars einer bekannten Firma die Zahlen weggelassen. Das ist aber für die Ablesung unbequem.

Die folgende von Herrn Prof. Dr. O. Hecker und dem Verf. angegebene Anordnung, die auf andere Art die Aufgabe löst, hat sich an Instrumenten verschiedener Art im Laufe der Jahre gut bewährt und soll deshalb für die Verwendung in wissenschaftlichen Instituten beschrieben werden. Das Fernrohrobjektiv wird als Verschlußplatte vor den Spiegel in den Apparat eingesetzt; dadurch fällt die Verschlußplanplatte mit ihren störenden Reflexionen weg. Das Okular mit Fadenkreuz liegt mit dem Instrument fest verbunden im Abstand der Brennweite des Objektivs. Über oder unter dem Okularrohr ist die Skala angebracht, deren Teilstriche je nach der gewünschten Vergrößerung einen Abstand von 0,5 — 0,1 mm haben. Solche Skalen

werden auch photographisch für 8 — 15 RM angefertigt (von Haak Jena, von Hellige Freiburg i. B.). Man verwendet Mikroskopokulare bis zur stärksten Vergrößerung, z. B. von Zeiss Jena, orthoskopisches Okular 28mal oder von Leitz Wetzlar, Periplanokular 20mal, oder kleine Ablesemikroskope von Hensoldt-Wetzlar 10mal bis 30mal. Man kann entweder Okular und Skala lichtdicht verbinden, wie z. B. bei einem für Feldmessungen verwandten magnetischen Universalvariometer oder kann den Schutz bei Laboratoriumsinstrumenten ganz oder teilweise weglassen. Als Objektiv sind je nach der Okularvergrößerung ein gewöhnlicher Achromat brauchbar (z. B. von H. Meyer Görlitz, von ca. 2 cm Öffnung für ca. 3 — 4 RM) der ein Okular mit Vergrößerung bis etwa 16mal gut verträgt, oder ein Achromat (z. B. von Steinheil München) mit größeren Öffnungen bei größeren Spiegeln für ein Ablesemikroskop als Okular geeignet. Benutzt wurden Brennweiten von 10 cm bis 35 cm. Die optische Einstellung bleibt unverändert scharf, auch wenn der Spiegel seine Lage gegen das Objektiv ändert, z. B. bei Einstellen des Niveaus mit den Fußschrauben.

Eine zweite auch mögliche Anordnung, wonach Okular und Skala in den Abstand der doppelten Brennweite kommen, gewährt letzteren Vorteil nicht. — Eine absolut genaue Einstellung in die Brennebene ist nicht erforderlich; man wird sich mit etwa 5 Proz. Genauigkeit begnügen können.

Wenn bei der Poggendorffschen Ablesung bei 3 m Abstand eine Skala von 1 m gebraucht wird, so genügen hier bei 20 cm Brennweite für denselben Winkelbereich 7 cm Länge, und man erzielt ungefähr dieselbe Meßgenauigkeit, in dem statt der mm-Teilung eine in 1/10 mm bei entsprechend stark vergrößerndem Okular verwandt wird.

---

# Ein neues Verfahren zur Messung von Innengewinden.

Von
**G. Berndt** und **E. Bock** in Dresden.

## I. Einleitung.

Für die Bestimmung des Außen- und Kerndurchmessers sowie der Steigung von Innengewinden stehen seit geraumer Zeit geeignete Geräte zur Verfügung (1, 2)[1]. Auch die Messung des halben Flankenwinkels ließ sich nach dem Abgußverfahren, wenn auch noch nicht ganz mit der wünschenswerten Genauigkeit, durchführen. Letzteres ist nun seit kurzem einwandfrei gestaltet, indem nach dem Vorschlage von Dr. Härtel, Wien, der auch eine geeignete Apparatur dafür angegeben hat, als Abgußmasse ein zahnärztliches Kupferamalgam verwendet wird (3), mit dem der halbe Flankenwinkel innerhalb der Genauigkeit der zur Messung verwendeten Geräte (meist der Gewinde-Meßkomparator oder das Universal-Meß-Mikroskop) ermittelt werden kann (4). Schwierigkeiten bereitete aber immer noch die Bestimmung der wohl wichtigsten Größe, des Flankendurchmessers. Es waren dafür zwar schon verschiedene Methoden bekannt (1) das Abgußverfahren erwies sich indessen dafür als nicht brauchbar, auch nicht in der zuletzt genannten Form, da beim Erstarren eine elastische Aufweitung des Prüflings eintritt, deren Größe von seinen Baumaßen abhängt (4).

Die unmittelbare Bestimmung des Flankendurchmessers mittels zweier Kugeln als Meßstücke scheiterte daran, daß sie für den vorliegenden Zweck nicht genügend genau sind und vor allem ihre Form nach verhältnismäßig kurzem Gebrauch stark ändern (5). Man muß deshalb hier zu einer Vergleichsmessung gegen ein geeignetes

[1] S. die Literaturangabe am Schluß.

Normal übergehen. Fühlhebel erfordern dabei für jede Größe einen besonderen Meßfuß; auch reicht ihr Meßbereich im allgemeinen nicht aus, wenn man nicht nur Lehrringe, sondern auch Muttern messen will. Bei der Benutzung von entsprechenden Innenschraublehren, die daher zunächst verwendet wurden, spielt aber der Meßdruck eine gewisse Rolle. Es wurde deshalb das Wagerecht-Optimeter mit der Einrichtung für Innenmessungen in Aussicht genommen, das (bei Ablesung auf $^1/_1\,\mu$ und Schätzung auf $^1/_{10}\,\mu$) einen Unterschied bis zu 0,2 mm zwischen Prüfling und Normal überbrücken kann und durch seine Verschiebungsmöglichkeit die Messung von Innengewinden von z. Zt. etwa 18 bis 115 mm zuläßt. Durch geeignete Ausgestaltung der Meßbügel würde man diese Grenze aber nach unten bis etwa 10 mm herunterrücken können. Ein weiterer Vorteil liegt darin, daß dieses Gerät in den meisten in Betracht kommenden Werkstätten in der Regel vorhanden ist. Die bisher nur für Messung glatter Ringe usw. vorgesehenen Bügel müssen allerdings gegen andere ausgetauscht werden, in denen die (für die einzelnen Gewindegrößen nötigen) verschiedenen Kugeleinsätze auswechselbar angebracht werden. In Zukunft läßt es sich indessen so einrichten, daß die Meßstifte (für die gewöhnlichen) gegen die Kugeleinsätze (für die Gewindemessungen) unmittelbar ausgewechselt werden können, so daß man dieselben Bügel für beide Zwecke verwenden kann. Ebenso müssen z. Zt. noch die Bügelträger, sobald es sich um die Messung gröberer Gewinde handelt, gegen andere vertauscht werden, die eine genügend große Beweglichkeit der Bügel zulassen, die hier notwendig ist, um erst den Gewindering überschieben und dann die Kugeln an die Flanken zur Anlage bringen zu können. Bei der Neubeschaffung eines Wagerecht-Optimeters können diese Träger naturgemäß auch ohne weiteres für die Messung von glatten Stücken gebraucht werden, so daß man dann nur ein Paar Träger benötigt.

Entscheidend war nun aber vor allem die Frage eines geeigneten Normales, das selbst auf andere Weise mit der nötigen Genauigkeit gemessen werden konnte. Bei den ursprünglich dafür verwendeten geteilten Lehrringen war dies nicht möglich. Es wurden deshalb Lehrringe genommen, bei denen der mittlere Teil so weit weggearbeitet war, daß auf jeder Seite nur ein dünner Steg stehen blieb (2, 6), an dem sich dann die Messung des Flankendurchmessers auf dem Universal-Meß-Mikroskop unter Benutzung besonderer (gekröpfter) Schneiden durchführen ließ. Auch hier befriedigte die Meßgenauigkeit indessen noch nicht ganz. Außerdem sind diese Normale sehr teuer, was um so mehr ins Gewicht fällt, als für jede Gewindeart und Größe ein besonderes Normal beschafft werden muß.

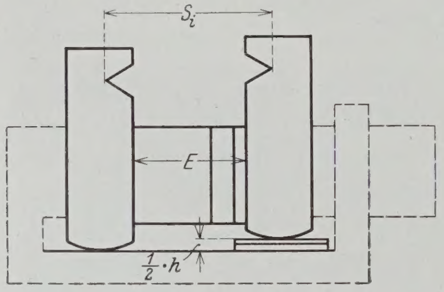


Abb. 1. Kimmen mit Halter und Endmaßen (schematisch.)

Auf Vorschlag der Firma Zeiss (Oberingenieur Steinle) wurden deshalb einstellbare Normale nach Abb. 1 in Aussicht genommen. Sie bestehen aus zwei rechtwinkligen Prismen mit je einer Kimme von dem betreffenden Gewindewinkel (55° für Whitworth-, 60° für metrisches Gewinde), die zunächst nur auf der Kimmenseite endmaßmäßig bearbeitet werden sollten, um sie aneinander ansprengen zu können. Durch Unterlegen eines Endmaßes von der Größe der halben Steigung des Prüflinges ($\frac{1}{2}\cdot h$) unter das eine Prisma sollten sie um diesen Betrag gegeneinander verschoben und ferner durch Einbringen von Endmaßen von einem bestimmten Wert $E$ zwischen beide Meßflächen in einen solchen Abstand voneinander gebracht werden, daß diese ganze Kombination, die durch

einen besonderen Halter zusammengefaßt wird, den gesuchten Flankendurchmesser aufweist; dieser sollte dann jeweils auf dem Universal-Meß-Mikroskop bestimmt werden. Dieses Normal hat den Vorteil, unter Zuhilfenahme eines (ja stets vorhandenen) Endmaßsatzes, für alle Größen einer Gewindeart verwendbar zu sein, so daß man mit nur zwei Paar Kimmen (je eins für Gewinde mit Witworth- und metrischem Profil) auskommt.

Diese Anregung wurde im Institut für Meßtechnik und Grundlagen des Austauschbaues an der Technischen Hochschule Dresden dahin weiter ausgebaut, daß die Messung des jeweils eingestellten Flankendurchmessers fortfällt und nur eine einmalige Messung des Scheitelabstandes $f_i$ (Abb. 4) bei unmittelbarer Berührung der Prismen (sowie ihres halben Flankenwinkels) erforderlich ist, und daß man ferner praktisch unabhängig von der Größe der unter das Prisma gelegten Endmaße wird (die gleich der halben Steigung $\frac{1}{2} \cdot h$ sein sollen). Als zweckmäßig hat es sich ferner erwiesen, die Prismen völlig als Endmaße (also mit zwei ebenen und parallelen Meßflächen) auszuführen (näheres im Abschnitt II).

So ist durch Zusammenarbeit der Firma Zeiss und des genannten Institutes allmählich ein auch für den Betrieb brauchbares Verfahren zur Messung von Innengewinden entwickelt worden, das vorzugsweise für Lehrringe gedacht ist. Es gestattet auch durch Messung mit zwei Kugelpaaren verschiedener Durchmesser die Ermittelung des ganzen Flankenwinkels und kann ferner ohne weiteres zur Messung dieser beiden Größen an Außengewinden (Lehrdornen) verwendet werden. Es wird hier aber nur in Frage kommen, wenn geeignete Geräte zur unmittelbaren Messung fehlen. Daher soll in nachstehendem nur die Messung des Flankendurchmessers (und kurz die des Flankenwinkels) an Innengewinden behandelt werden.

## II. Theorie und Meßgenauigkeit für den Flankendurchmesser.

### a) Formel für den Flankendurchmesser.

Bezeichnet man nach Abb. 2 mit $F$ den Flankendurchmesser, mit $h$ die Steigung, mit $d$ den Kugeldurchmesser und mit $M$ den Abstand der Kugelmittelpunkte (sämtliche Maße in mm), ferner mit $\alpha/2$ den halben Flankenwinkel, so folgt der Flankendurchmesser des Normals aus (1)

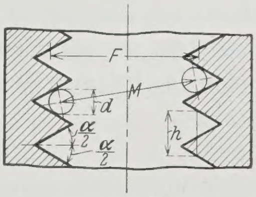



Abb. 2. Messung des Flankendurchmessers von Innengewinden.

$$F_0 = \sqrt{M_0^2 - \frac{h_0^2}{4}} + \frac{d}{\sin \alpha_0/2} - \frac{1}{2} \cdot h_0 \cdot \operatorname{ctg} \frac{\alpha_0}{2}$$

oder

$$F_0 = M_0 - \frac{h_0^2}{8 \cdot M_0} + d \cdot \frac{1}{\sin \alpha_0/2} - \frac{1}{2} \cdot h_0 \cdot \operatorname{ctg} \frac{\alpha_0}{2}$$

und der des Prüflings aus

$$F = M - \frac{h^2}{8 \cdot M} + d \cdot \frac{1}{\sin \alpha/2} - \frac{1}{2} \cdot h \cdot \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}.$$

Durch Subtraktion ergibt sich dann der Flankendurchmesser des Prüflings zu

$$F = F_0 + (M - M_0) - \left(\frac{h^2}{8 \cdot M} - \frac{h_0^2}{8 \cdot M_0}\right) + d \cdot \left(\frac{1}{\sin \alpha/2} - \frac{1}{\sin \alpha_0/2}\right)$$
$$- \frac{1}{2} \cdot \left(h \cdot \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} - h_0 \cdot \operatorname{ctg} \frac{\alpha_0}{2}\right).$$

b) Messung von $F_0$.

Die Messung des Flankendurchmessers $F_0$ sollte nun ursprünglich an der aus den Kimmen und zwischengelegten Endmaßen bestehenden Kombination nach Abb. 1, etwa auf dem Universal-Meß-Mikroskop, ausgeführt werden. Um von einer etwaigen Abweichung der Lage der Achse dieses Normals von der Senkrechten zur Verschiebungsrichtung auf dem genannten Gerät unabhängig zu werden, muß die Messung an zwei entgegengesetzt geneigten Flankenpaaren durchgeführt und dann das Mittel aus den beiden erhaltenen Werten $F_0'$ und $F_0''$ genommen werden (1). Nun ist nach Abb. 3 die Bestimmung von $F_0'$ ohne weiteres möglich — unter Benutzung gekröpfter Schneiden —, da die Flanken $a$ und $b$ mindestens teilweise einander gegenüberstehen, aber es fehlt die $c$ gegenüberliegende Flanke $d'$, da $d$ ja von $d'$ um die Steigung $h_0$ absteht. Es wäre also nötig, nach Anlage des Fadens an $c$ das Normal senkrecht zur Meßrichtung um $h_0$ zu verschieben, so daß die Flanke $d$ nach $d'$ zu liegen kommt, und dann den Abstand $c\,d' = F_0''$ zu ermitteln. Durch jene Verschiebung $dd'$ (namentlich wenn sie nicht genau senkrecht zur Meßrichtung erfolgt), kommen aber weitere Fehler zu den stets vorhandenen hinzu, so daß die sonstige Meßgenauigkeit (2) von

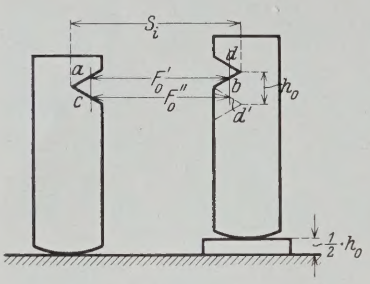



Abb. 3. Innerer Scheitelabstand und Flankendurchmesser der Kimmen.

$$\left(0{,}5 + \frac{1}{\sin \alpha_0/2} + \frac{F_0}{50}\right)\mu \sim \left(2{,}5 + \frac{F_0}{50}\right)\mu$$

($F_0$ in mm) nicht erreicht wird, ganz abgesehen davon, daß auch selbst dieser Wert von $\left(2{,}5 + \frac{F_0}{50}\right)\mu$ für die Messung eines Normals reichlich groß ist und die Ungenauigkeit der Bestimmung des Flankendurchmessers $F$ des Prüflings wesentlich erhöht.

Wollte man sich andererseits auf die Messung von $F_0'$ allein beschränken, so hätte das Normal mit seiner Achse sehr genau senkrecht zur Verschiebungsrichtung ausgerichtet werden müssen. Bezeichnet man die Abweichung hiervon mit $\beta$, so berechnet sich der bei der Messung auftretende Fehler $f$ (1) zu

$$f = \pm F_0 \cdot \sin\beta \cdot \operatorname{ctg}\left(\frac{\alpha_0}{2} \pm \beta\right)$$

(die Vorzeichen hängen von dem Richtungssinn von $\beta$ ab). Nimmt man an, daß die Ausrichtung des Normals bis auf eine Minute genau möglich wäre (was praktisch aber kaum zu erreichen sein wird), so ist mit genügender Annäherung

$$f = F_0 \cdot \beta \cdot \operatorname{ctg}\frac{\alpha_0}{2},$$

für $\alpha_0 = 55^0$

$$f = 1{,}92 \cdot F_0 \cdot \beta$$

und mit $\beta = 1' \sim 3 \cdot 10^{-4}$

$$f = 5{,}7 \cdot F_0 \cdot 10^{-4}\,\text{mm} \sim 0{,}6 \cdot F_0\,\mu \qquad (F_0 \text{ in mm}).$$

Bei $^1/_4''$ Durchmesser ($F_0 = 5{,}537$ mm) wird $f = 3{,}3\,\mu$, bei $1''$ Durchmesser ($F_0 = 23{,}368$ mm) aber bereits rund $14\,\mu$. Die alleinige Messung von $F_0'$ würde also sehr fehlerhaft ausfallen können.

Wegen der geschilderten Schwierigkeiten bei der genauen unmittelbaren Messung von $F_0$ wurde dieses Verfahren aufgegeben und ein gänzlich anderer Weg eingeschlagen.

Rechnerisch bestimmt sich nämlich $F_0$ aus dem „inneren Scheitelabstand" $S_i$ und dem Wert $\frac{1}{2} \cdot h_0$, der durch die untergelegten Endmaße dargestellt ist. Er folgt nach Abb. 3 aus

$$F_0 = S_i - \frac{1}{2} \cdot h_0 \operatorname{ctg} \frac{\alpha_0}{2}.$$

$S_i$ seinerseits wird dargestellt durch die zwischengelegten Endmaße $E$ und die „innere Kimmenkonstante" $f_i$ (Abb. 4a), die bei unmittelbar zusammengesprengten Endmaßen vorhanden ist, zu

$$S_i = E + f_i.$$

c) Die innere Kimmenkonstante $f_i$ ist nur mit Schwierigkeiten zu messen. Das optische Verfahren (etwa auf dem Universal-Meß-Mikroskop) versagt, da man bei unmittelbarer Einstellung des Mikroskopes auf die Kimmen infolge der Reflexe und

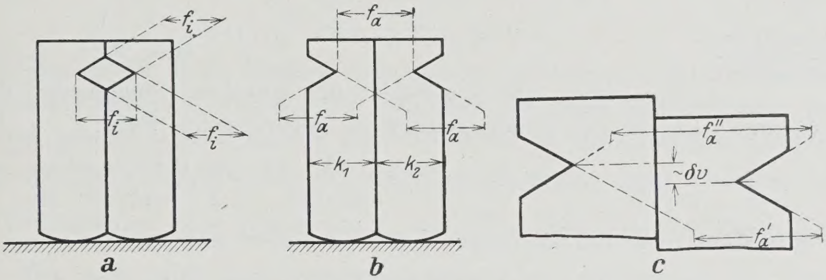



Abb. 4. Die Kimmenkonstanten.

der Kantenabrundung keine genügend scharfen Bilder erhält und ferner nicht in der Mitte der Kimmenflächen beobachten kann. Andererseits ist es auch unmöglich, an die nach Abb. 4a zusammengesprengten Kimmen Schneiden anzuschieben, wie man sonst bei derartigen Beobachtungen verfährt. Ebensowenig ist eine Messung durch eingelegte Drähte (s. Abschnitt d) auszuführen.

d) Äußere Kimmenkonstante $f_a$. Leichter ist die äußere Kimmenkonstante $f_a$ (Abb. 4b) zu messen, die auftritt, wenn man die Prismen mit den den Kimmen gegenüberliegenden Flächen aneinander ansprengt. Dazu ist nötig, daß sie wie Endmaße ausgeführt, also die einander gegenüberliegenden großen Flächen gut eben und parallel sind. Die Messung kann ferner auf dem Universal-Meß-Mikroskop mit den üblichen vorhandenen Schneiden durchgeführt werden. Man muß lediglich bei der Schneideneichung beachten, daß sie bei der Messung von $f_a$ nicht (wie sonst bei Gewinden) genau einander gegenüberstehen. Den Einfluß einer etwaigen (geringen) Unparallelität der Striche auf der Strichplatte des Beobachtungsmikroskopes kann man dadurch ausschalten, daß man bei mehreren Messungen einer „Flanke" — also bei Benutzung des gleichen Schneidenpaares — die Strichplatte um $180^0$ dreht. Eine seitliche Versetzung der Kimmen gegeneinander bewirkt (ebenso wie eine Verdrehung gegen die Achsen des Universal-Meß-Mikroskopes) keine in Betracht kommenden Fehler, sobald man wieder an zwei entgegengesetzt gerichteten „Flanken" mißt und das Mittel aus beiden Ergebnissen nimmt, da bis auf Größen zweiter Ordnung nach Abb. 4c

$$f'_a = f_a + \delta v \cdot \operatorname{ctg} \frac{\alpha_0}{2}, \qquad f''_a = f_a - \delta v \cdot \operatorname{ctg} \frac{\alpha_0}{2},$$

somit

$$f_a = \tfrac{1}{2} \cdot (f'_a + f''_a)$$

ist.

Eine andere Möglichkeit der Bestimmung von $f_a$ zeigt Abb. 5. Man benutzt zwei Zylinder vom Durchmesser $D$ und $d$ (weniger günstig sind Kugeln wegen der im allgemeinen nicht so guten Rundheit), und bestimmt $M$ mit einem Fühlhebel, etwa dem Optimeter, gegen Endmaße. Unter der Voraussetzung, daß beide Kimmen gleiche Winkel haben, ist

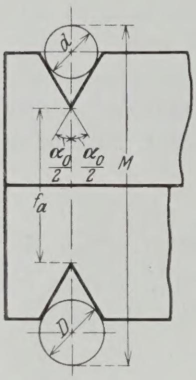


Abb. 5. Bestimmung der äußeren Kimmenkonstanten mit Zylindern.

$$M = f_a + \frac{D+d}{2} \cdot \left(1 + \frac{1}{\sin \alpha_0/2}\right)$$

und ferner, wenn $\Delta M$ die Differenz der Fühlhebelanzeigen zwischen $E$ und $M$ bedeutet,

$$E + \Delta M = f_a + \frac{1}{2} \cdot (D+d) \cdot \left(1 + \frac{1}{\sin \alpha_0/2}\right).$$

Hieraus folgt, wenn $\frac{1}{2} \cdot (D+d) = \vartheta$ gesetzt wird,

$$f_a = E + \Delta M - \vartheta \cdot \left(1 + \frac{1}{\sin \alpha_0/2}\right).$$

Bezeichnet man die Fehler der einzelnen Summanden durch ein vorgesetztes $\delta$, so ist der des Endergebnisses im ungünstigsten Falle:

$$\delta f_a = \pm \left[\delta E + \delta \Delta M + \delta \vartheta + \delta \vartheta \cdot \frac{1}{\sin \alpha_0/2} + \delta \frac{\alpha_0}{2} \cdot \frac{\vartheta \cdot \cos \alpha_0/2}{\sin^2 \alpha_0/2}\right].$$

Für das Mittel aus mehreren Messungen kann man etwa setzen:

$$\delta E = 0{,}05\,\mu, \qquad \delta \Delta M = 0{,}1\,\mu, \qquad \delta \vartheta = 0{,}1\,\mu,$$

somit

$$\delta \vartheta \cdot \frac{1}{\sin \alpha_0/2} = 0{,}2\,\mu,$$

ferner

$$\delta \frac{\alpha_0}{2} = 1' \sim 3 \cdot 10^{-4},$$

somit

$$\delta \frac{\alpha_0}{2} \cdot \frac{\vartheta \cdot \cos \alpha_0/2}{\sin^2 \alpha_0/2} = 2{,}1\,\mu \qquad (\text{bei } \alpha_0 = 60^0 \text{ und } \vartheta \sim 2 \text{ mm}).$$

Damit ergibt sich die Genauigkeit, mit der $f_a$ bestimmt werden kann, im ungünstigsten Falle zu $\pm 2{,}5\,\mu$. Innerhalb der gleichen Fehlergrenzen liegt auch die Komparatormessung (s. oben). Es ist aber zu beachten, daß die hier gefundenen Werte nur im ungünstigsten Falle auftreten werden, und daß man bei mehrfachen, mit größter Sorgfalt angestellten Messungen mit einer Genauigkeit von $\pm 1{,}0\,\mu$ rechnen darf (z. B. wird man beim zweiten Verfahren Drähte von verschiedenen Durchmessern benutzen). Nunmehr ergibt sich $f_i$ aus der Gleichung (Abb. 4b)

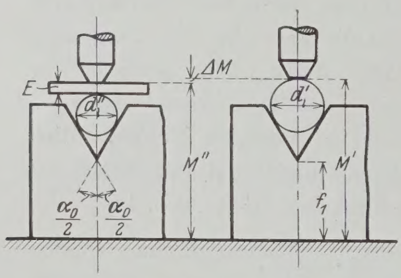


Abb. 6. Messung des Kimmenwinkels.

$$f_i + f_a = k_1 + k_2.$$

Die Größen $k_1$ und $k_2$ lassen sich durch interferometrische Messung mit außerordentlich großer Genauigkeit bestimmen, wenn eben (s. o.) die Kimmen als Endmaße (und nicht nur mit je einer ebenen Meßfläche) ausgebildet werden.

e) Den halben Kimmenwinkel, der zur Rechnung benötigt wird, mißt man auf dem Universal-Meß-Mikroskop nach der Lichtspaltmethode, wobei der Maximalfehler zu $\pm 2$ min, bei einer größeren Zahl von Be-

obachtungen der wahrscheinliche zu $\pm$ 1,0 min (2) anzunehmen ist. Die Kontrollmessung kann mittels zweier Drähte von verschiedenem Durchmesser nach Abb. 6 erfolgen. Es ist

$$M' = f_1 + \frac{d'}{2} \cdot \left(1 + \frac{1}{\sin \alpha_0/2}\right)$$

und

$$M'' = f_1 + \frac{d''}{2} \cdot \left(1 + \frac{1}{\sin \alpha_0/2}\right) + E.$$

Hieraus folgt, wenn $\frac{1}{2} \cdot (d' - d'') = \vartheta$ gesetzt wird,

$$M' - M'' = \Delta M = -E + \vartheta \cdot \left(1 + \frac{1}{\sin \alpha_0/2}\right)$$

und

$$\sin \frac{\alpha_0}{2} = \frac{\vartheta}{(\Delta M + E) - \vartheta}.$$

Auch die Genauigkeit dieser Methode läßt sich bis auf etwa $\pm$ 1,0 min für den halben Flankenwinkel treiben (7); (tatsächlich wird aber der ganze Flankenwinkel gemessen). Später wird gezeigt werden, daß es sehr wesentlich ist, das wirkliche Maß des Winkels möglichst genau zu kennen. Die erforderlichen Messungen sind also mit besonderer Sorgfalt vorzunehmen. Die Werte von $f_a$ und $\frac{\alpha_0}{2}$ werden von der Firma Zeiss mitgeliefert. Wie man selbst ihre Bestimmung auszuführen vermag, ist in vorstehendem geschildert. Sie ist nur einmal nötig; höchstens wäre die von $\frac{\alpha_0}{2}$ zu wiederholen, wenn die Gefahr einer Änderung durch Abnutzung vorliegt.

f) Meßergebnisse. Anschließend sollen die Ergebnisse von Messungen, die an bereits gelieferten Kimmen vorgenommen wurden, mitgeteilt werden. $f_a$ wurde — jeweils durch mehrere Messungen — auf dem Universal-Meß-Mikroskop zu 11,938.41 mm mit einer Schwankung von $+1{,}0\,\mu$ bis $-0{,}5\,\mu$, mittels Drähten auf dem Optimeter zu 11,938.40 mm gefunden. Hieraus ergibt sich als Mittelwert unter Berücksichtigung der Zahl der einzelnen Beobachtungen

$$f_a = 11{,}938.40 \text{ mm}.$$

Ferner waren

$$K_1 + K_2 = 8{,}990.54 + 8{,}982.46 = 17{,}973.00 \text{ mm},$$

so daß

$$f_i = 6{,}034.60 \text{ mm}$$

wurde. Der halbe Flankenwinkel wurde auf dem Universal-Meß-Mikroskop zu $\frac{\alpha_0}{2} = 27^0\,28{,}4'$ mit einer Schwankung von $\pm$ 0,7′ gemessen. Aus der Messung des ganzen Winkels mittels Drähten ergab er sich zu $\frac{\alpha_0}{2} = 27^0\,30{,}2'$, so daß im Mittel

$$\frac{\alpha_0}{2} = 27^0\,29{,}4'$$

war.

g) Die Genauigkeit der Bestimmung des Flankendurchmessers. Aus den Gleichungen für $F_0$ und $S_i$ folgt der Flankendurchmesser des Normales zu

$$F_0 = E + f_i - \frac{1}{2} \cdot h_0 \cdot \operatorname{ctg} \frac{\alpha_0}{2}$$

und somit der Flankendurchmesser des Prüflings zu

$$F = E + f_i - \frac{1}{2}\cdot h_0 \cdot \operatorname{ctg}\frac{\alpha_0}{2} + (M - M_0) - \left(\frac{h^2}{8\cdot M} - \frac{h_0^2}{8\cdot M_0}\right) + d\cdot\left(\frac{1}{\sin\alpha/2} - \frac{1}{\sin\alpha_0/2}\right)$$
$$- \frac{1}{2}\cdot\left(h\cdot\operatorname{ctg}\frac{\alpha}{2} - h_0\cdot\operatorname{ctg}\frac{\alpha_0}{2}\right).$$

Diese Gleichung zeigt, daß der Einfluß der für das Normal gewählten Verschiebung $\frac{1}{2}\cdot h_0$ vollständig verschwindet, da die davon abhängigen Größen sich fortheben. Es kommt also auf die genaue Einstellung der beiden Kimmen gegeneinander gar nicht ängstlich an. Ferner zeigt sich noch, daß es (ganz abgesehen von den unter a) angeführten Schwierigkeiten) unzweckmäßig wäre, den Flankendurchmesser der Kombination unmittelbar zu messen, da dann das Glied $\frac{1}{2}\cdot h_0\cdot\operatorname{ctg}\frac{\alpha_0}{2}$ von Einfluß sein würde. Somit ergibt sich

$$F = E + f_i + (M - M_0) - \left(\frac{h^2}{8\cdot M} - \frac{h_0^2}{8\cdot M_0}\right) + d\cdot\left(\frac{1}{\sin\alpha/2} - \frac{1}{\sin\alpha_0/2}\right) - \frac{1}{2}\cdot h\cdot\operatorname{ctg}\frac{\alpha}{2}.$$

In dieser Gleichung kann das Glied $\left(\frac{h^2}{8\cdot M} - \frac{h_0^2}{8\cdot M_0}\right)$ mit genügender Annäherung vernachlässigt werden. Über den dadurch entstehenden Fehler gibt folgende Rechnung Aufschluß:

Es werde gesetzt:

$$h_0 = h \pm \delta,$$
$$M_0 = M \pm \Delta.$$

Das Glied $\left(\frac{h^2}{8\cdot M} - \frac{h_0^2}{8\cdot M_0}\right)$ (und der damit bei seiner Weglassung entstehende Fehler) wird seinen Größtwert annehmen, wenn $\delta$ und $\Delta$ entgegengesetzte Vorzeichen haben, so daß der Quotient beider ein Maximum erreicht, wenn also

$$h_0 = h + \delta,$$
$$M_0 = M - \Delta$$

gesetzt werden. Dann ist, weil $\delta$ und $\Delta$ kleine Größen, deren zweite und höhere Potenzen vernachlässigt werden können,

$$\left(\frac{h^2}{8\cdot M} - \frac{h_0^2}{8\cdot M_0}\right) = \frac{h^2}{8\cdot M} - \frac{(h+\delta)^2}{8\cdot(M-\Delta)} = -\frac{2\cdot h\cdot\delta + \frac{h^2\cdot\Delta}{M}}{8\cdot M} = -\left(\frac{h\cdot\delta}{4\cdot M} + \frac{h^2\cdot\Delta}{8\cdot M^2}\right).$$

Die Größe von $\delta$ wird man für alle Gewinde im Mittel zu etwa $5\,\mu$, im Höchstfalle zu $10\,\mu$ annehmen dürfen, da die Steigung der Lehrringe, um deren Messung es sich ja hauptsächlich handelt, dem Sollwert im allgemeinen sehr nahe zu kommen pflegt und man diese Steigung auch dem Normal innerhalb sehr enger Grenzen (Endmaße!) erteilen kann. Ebenso kann man (durch entsprechende Wahl von $E$) $\Delta = (M - M_0)$ in nahezu beliebig engen Grenzen halten. In der folgenden Tabelle ist der Zahlenwert $\left(\frac{h^2}{8\cdot M} - \frac{h_0^2}{8\cdot M_0}\right)$ für metrisches Gewinde angegeben, und zwar für die Werte $\Delta = 10$, 20 und $50\,\mu$, bei einer Differenz der Steigungen zwischen Normal und Prüfling von $\delta = 5$ und $10\,\mu$.

$$c = \left(\frac{h^2}{8\,M} - \frac{h_0^2}{8\,M_0}\right) \text{ für metrisches Gewinde.}$$

$c$ in $\mu$

| $d$ | $h$ | $M$ | für $\delta = 5\,\mu$ | | | für $\delta = 10\,\mu$ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| mm | mm | mm | $\Delta = 10$ | 20 | 50 $\mu$ | $\Delta = 10$ | 20 | 50 $\mu$ |
| 10 | 1,5 | 9,5 | — 0,21 | — 0,24 | — 0,32 | — 0,40 | — 0,42 | — 0,51 |
| 20 | 2,5 | 19 | — 0,19 | — 0,21 | — 0,27 | — 0,35 | — 0,37 | — 0,44 |
| 48 | 5 | 46 | — 0,15 | — 0,17 | — 0,21 | — 0,29 | — 0,30 | — 0,35 |
| 99 | 6 | 97 | — 0,08 | — 0,09 | — 0,10 | — 0,16 | — 0,16 | — 0,18 |
| 149 | 6 | 147 | — 0,05 | — 0,06 | — 0,06 | — 0,11 | — 0,11 | — 0,11 |

Beim Whithworth-Gewinde ergeben sich praktisch dieselben Werte; die Tabelle dafür ist deshalb nicht besonders aufgeführt worden. Es mag hier der Hinweis genügen, daß bei einer überschlägigen Berechnung von $c$ das Glied $\left(\frac{h^2}{8 \cdot M^2} \cdot \Delta\right)$ ohne Bedenken unberücksichtigt bleiben kann, da es selbst im ungünstigsten Falle $\left(\frac{h}{M} = \text{max.}\right)$ für $\Delta = 20\,\mu$ nur $0{,}05\,\mu$ und erst bei $\Delta = 50\,\mu$ $0{,}14\,\mu$ ausmacht.

Man sieht, daß bei einigermaßen sorgfältigen Messungen ($\delta = 5\,\mu$, $\Delta = 20\,\mu$) der durch Vernachlässigung des eben betrachteten Ausdruckes entstehende Fehler maxima nur $0{,}24\,\mu$ betragen kann. Im Durchschnitt wird er noch geringer sein.

Der Flankendurchmesser des Prüflings ist also mit genügender Genauigkeit durch folgende Gleichung gegeben:

$$F = E + f_i + (M - M_0) + d \cdot \left(\frac{1}{\sin\alpha/2} - \frac{1}{\sin\alpha_0/2}\right) - \frac{1}{2} \cdot h \cdot \operatorname{ctg}\frac{\alpha}{2}.$$

Bezeichnet man die Fehler der einzelnen Größen wieder durch ein vorgesetztes $\delta$, so wird im ungünstigsten Falle

$$\begin{aligned}\delta F = {} & \pm\,\delta E \pm \delta f_i \pm (\delta M + \delta M_0)\\ & \pm\,\delta\frac{\alpha}{2} \cdot \left(\frac{d \cdot \cos\alpha/2}{\sin^2\alpha/2} - \frac{\frac{1}{2} \cdot h}{\sin^2\alpha/2}\right) \pm \delta\frac{\alpha_0}{2} \cdot \frac{d \cdot \cos\alpha_0/2}{\sin^2\alpha_0/2}\\ & \pm\,\frac{1}{2} \cdot \delta h \cdot \operatorname{ctg}\frac{\alpha}{2} \pm \delta d \cdot \left(\frac{1}{\sin\alpha/2} - \frac{1}{\sin\alpha_0/2}\right).\end{aligned}$$

Verwendet man Kugeln vom günstigsten Durchmesser (1), d. h. einem solchen, daß

$$d = \frac{1}{2} \cdot h \cdot \frac{1}{\cos\alpha/2}$$

ist, so wird

$$\begin{aligned}\delta F = \pm\Big[ & \delta E + \delta f_i + (\delta M + \delta M_0) + \delta\frac{\alpha_0}{2} \cdot \frac{d \cdot \cos\alpha_0/2}{\sin^2\alpha_0/2} + \frac{1}{2} \cdot \delta h \cdot \operatorname{ctg}\frac{\alpha}{2}\\ & + \delta d \cdot \left(\frac{1}{\sin\alpha/2} - \frac{1}{\sin\alpha_0/2}\right)\Big].\end{aligned}$$

Setzt man

$$\frac{\alpha_0}{2} = \frac{\alpha}{2} + \delta,$$

wobei $\delta$ eine kleine Größe ist, so wird

$$\frac{1}{\sin\alpha/2} - \frac{1}{\sin\alpha_0/2} = \frac{\delta \cdot \cos\alpha/2}{\sin^2\alpha/2}.$$

Somit wird das Glied mit $\delta d$ von der zweiten Ordnung und

$$\delta F = \pm \left[\delta E + \delta f_i + (\delta M + \delta M_0) + \frac{1}{2}\cdot\delta h\cdot\operatorname{ctg}\frac{\alpha}{2} + \delta\frac{\alpha_0}{2}\cdot\frac{d\cdot\cos\alpha_0/2}{\sin^2\alpha_0/2}\right].$$

$\delta E$ kann man bei Berücksichtigung der Korrektion der Endmaße zu 0,05 $\mu$, $\delta f_i$ nach dem früher Mitgeteilten zu 1,0 $\mu$ annehmen; der Wert von $(\delta M + \delta M_0)$ wird etwa 2,0 $\mu$ betragen, der von $\frac{1}{2}\cdot\delta h\cdot\operatorname{ctg}\frac{\alpha}{2}$ etwa 1,0 $\mu$, falls die Steigung des Prüflings auf 1 $\mu$ gemessen ist. Mit $\delta\frac{\alpha_0}{2} = 1' \sim 3{,}10^{-4}$ wird das letzte Glied bei Gewinden mittlerer Größe (etwa 25 mm Durchmesser) rund 2 $\mu$, bei den ganz großen etwa 4 $\mu$, und es ergibt sich die maximale Meßunsicherheit für den Flankendurchmesser $F$ des Prüflings zu rund $\pm$ 6 bis $\pm$ 8 $\mu$, die wahrscheinliche zu $\pm$ 4 bis $\pm$ 5 $\mu$.

Würde man $F_0$ unmittelbar gemessen haben, so hätte in der Gleichung für $F$ auch ein Glied $\frac{1}{2}\cdot h_0\cdot\operatorname{ctg}\frac{\alpha_0}{2}$ gestanden. Damit würde (bei Benutzung der Kugeln vom günstigsten Durchmesser) zwar das Glied mit $\delta\frac{\alpha_0}{2}$ (das ja einen verhältnismäßig großen Anteil am Gesamtfehler bewirkt), verschwunden sein, dafür würde aber ein Glied $\frac{1}{2}\cdot\delta h_0\cdot\operatorname{ctg}\frac{\alpha_0}{2}$ mit mindestens 1 $\mu$ hinzugekommen sein, wobei vorausgesetzt ist, daß ohne die untergelegten Endmaße $\frac{1}{2}\cdot h_0$ die beiden Kimmenscheitel genau einander gegenüberstehen. Da man hier aber doch mit größeren Abweichungen rechnen muß, wird der Fehler $\frac{1}{2}\cdot\delta\cdot h_0\cdot\operatorname{ctg}\frac{\alpha_0}{2}$ wesentlich größere Werte annehmen. Ferner wäre an die Stelle von $E + f_i$ der Flankendurchmesser $F_0$ getreten, dessen Ungenauigkeit bedeutend größer als die von $(E + f_i)$ ist. Die Messung von $F$ wäre also dadurch im ganzen erheblich ungenauer geworden. (Schluß folgt.)

---

# Eine vereinfachte Ausführung einer elektrisch anzeigenden Windfahne für beliebig viele Stromkreise.

Von

Ing. **Rudolf Masek** in Breslau.

Im Jahrgang 1928 *dieser Zeitschrift* gibt Olaf Devik[1] eine Konstruktion einer elektrisch registrierenden Windfahne bekannt, die fest mit einem Anemometer gekoppelt ist.

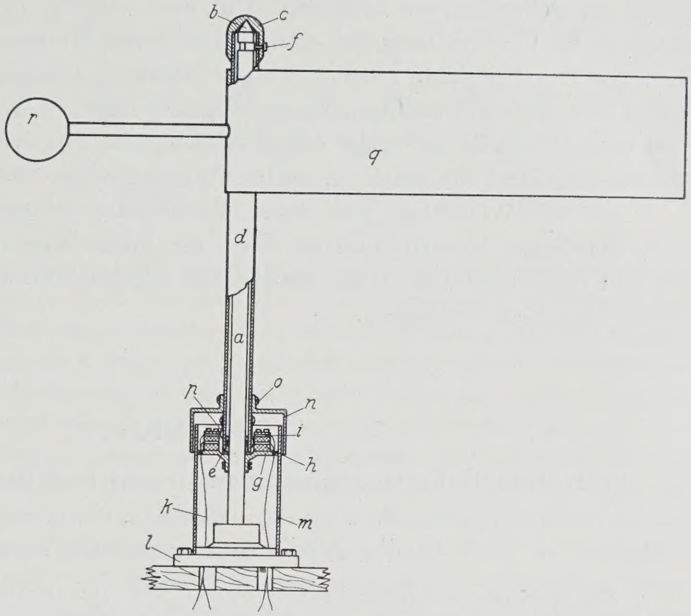
Nachstehend gebe ich eine von mir durchgeführte, in dem Kontaktmechanismus abweichende Konstruktion an. Die Abbildung zeigt das System einer Windfahne, die bei vielseitigster Verwendbarkeit besonders einfache und praktische Bauart aufweist.

Auf einer feststehenden, stabilen Achse ($a$), die in eine harte Spitze ($b$) oder eine Stahlkugel ausläuft, sitzt der Kopf ($c$) des Flügelrohres ($d$). Dieses ist besonders lang gewählt, um den Neigungsdruck gegen die stabile Achse möglichst klein zu gestalten und so eine leichte Drehung der Fahne zu gewährleisten. Der Rotationswiderstand wird außerdem noch verringert durch Stahlkugeln ($e$), die am unteren Ende des Flügelrohres zwischen zwei Ringen gelagert sind. Da diese auf der glatten Achse laufen, so ist es jederzeit möglich, die Fahne beliebig hoch zu heben. Um ein An-

[1] Olaf Devik, Über Konstruktionen meteorologischer Instrumente. *Diese Zeitschr.* **48.** *S. 218. 1928.*

heben der Fahne bei Böen usw. zu unterbinden, ist sie durch eine von außen zugängliche Schraube ($f$) gesichert, die einen halbringförmigen Schuh, der in einer Nut der Achse gleitet, festhält.

Auf den unteren Teil der Achse ist ein Flansch ($g$) aufgeschoben, der den Kollektorring trägt. Dieser besteht aus konzentrischen Isolationsringen ($h$) aus Hartgummi oder Fibre und dazwischenliegenden Kollektorlamellen ($i$). Das ganze System wird durch in Isolierrohr sitzende Schrauben zusammengehalten. Von den Lamellen führen die isolierten Drähte ($k$) getrennt durch den Kollektorflansch und dann gemeinsam durch den Gußfuß ($l$). Ein über diesen Flansch und einen Ansatz des Fußes gezogenes Rohr ($m$) dient als Leitungs- und in Verbindung mit der sich kurz darüber drehenden Kappe ($n$) zugleich als Witterungsschutz. Die Kappe sitzt fest auf dem Flügelrohr.




Diese Anordnung ermöglicht eine schnelle Beseitigung irgendwelcher etwa auftretender Störungen. Je nach dem Sitz der Störung ist lediglich ein Lösen der Kappenschrauben ($o$) oder nur der Spitzenschraube erforderlich. Im ersten Fall ist der Kontaktmechanismus freigelegt, im letzten Fall kann das gesamte Flügelrohr hochgezogen werden, wodurch sämtliche Kontaktflächen erreichbar sind. Diese einfache Handhabung ist wegen der zumeist exponierten Stellung der Fahne an oft schwer zugänglichen Stellen von besonderer Bedeutung.

Die Anordnung des Kollektors gibt die Möglichkeit, ihn jederzeit für beliebig viele Stromkreise einzurichten. Es sind jeweils lediglich ein weiterer Kranz von Kollektorlamellen und eine Isolationsplatte hinzuzufügen. Ferner ist noch ein weiterer Schleifbügel ($p$) in entsprechender Höhe am Flügelrohr anzubringen. Der Bügel ist federnd und hat eine Schleiffläche von halber Lamellenbreite, um den Schwankungsfehler auf allen Richtungen gleich groß zu machen. Die Anzahl der Lamellen für einen Stromkreis beträgt meist 4 oder 8, doch kann sie, je nach Größe der Fahne beliebig vermehrt werden. Die Achse mit Rohr und Schleiffedern dient als gemeinsame Rückleitung für sämtliche Stromkreise. Zur Verwendung kommt für alle Stromkreise nur eine Batterie, während für jedes an die Windfahne angeschlossene Instrument ein besonderer Lamellenkranz im Kollektor vorgesehen sein muß. Es ist dies deshalb erforderlich, um unabhängig voneinander und ohne gegenseitigen Einfluß beliebig viele Registriergeräte, Indikatoren u. dgl. anschließen zu können. Die Einzelunterbrechung liegt dann zwischen dem einzelnen Anzeigeinstrument und der Batterie.

Beachtlich ist ebenfalls die Flügelform ($q$) der Windfahne. Sie ist entgegen der allgemein üblichen Keilform, deren Strudelwirkung am Ende der Fahne hemmend und störend auf den Gang wirkt, in der bekannten Stromlinienform gehalten. Mit einer

stumpfen Stirn erweitert sie sich zur breitesten Stelle im ersten Drittel, um nach hinten in eine Schneide auszulaufen. In Abweichung von der von Devik gegebenen Windfahnenaufstellung liegt der Drehpunkt an der Stirnfläche der Fahne.

Ein gut ausbalanciertes Gegengewicht (*r*) verhindert falsche Einstellung der Fahne für den Fall der Neigung des gesamten Systems gegen die Vertikale und dient gleichzeitig zur Schonung der Lagerung. Um eine schnelle Einstellung der Fahne in die tatsächliche Windrichtung bei stark wechselnden Winden zu erreichen, ist der Hebelarm des Gegengewichts möglichst klein gehalten. Allerdings ist dieser Armverkürzung durch die dadurch bedingte Massenvergrößerung des Gewichts eine Grenze gesetzt. Um dem Wind die geringste Angriffsfläche gegen alle Seiten des Gewichts zu bieten, dürfte die Kugel die einzig mögliche Form darstellen.

Soll die Windfahne mit einem Anemometer gekoppelt werden, so ist bei der oben gegebenen Konstruktion an Stelle der Spitzenlagerung eine Kugellagerung anzubringen und die stabile Achse zwecks Leitungsdurchführung als Rohr über die Windfahne hinaus zu verlängern.

---

# Berichte.

## Piëzoelektrische Messungen von Druck- und Beschleunigungskräften.

*Von* J. Kluge und H. E. Linckh. *Zeitschr. d. Ver. D. Ing.* **73**. *S. 1311—1314.* **1929.**

(Mitt. a. d. Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.)

Zur Messung rasch veränderlicher Drucke, wie z. B. der Deformationsspannungen bei dynamischer Beanspruchung von Konstruktionsteilen, der Schnittdrucke bei Werkzeugmaschinen, des Gasdruckes bei rasch laufenden Verbrennungsmaschinen, der Massenkräfte bei Beschleunigungsvorgängen usw., sind verschiedene Verfahren bekannt, die jedoch alle nicht unerhebliche Nachteile besitzen. Diese Nachteile vermeidet ein neues Verfahren, bei dem der zu messende Druck auf einen piëzoelektrischen Quarz übertragen wird. Auf dem Quarz entstehen dem Druck verhältnisgleiche Ladungen. Diese Ladungen werden einem elektrostatischen Röhrenvoltmeter zugeführt und dort in Stromänderungen umgesetzt, die ein Oszillograph aufzeichnet. In Abb. 1 ist die Schaltung des Röhrenvoltmeters wiedergegeben. Die von dem Quarz $Q$ erzeugten elektrischen Ladungen bringen das Steuergitter der Eingangsröhre auf das Potential $e$ und steuern damit den Anodenstrom. Um einen Ladungsverlust des Steuergitters zu vermeiden, wird eine Spezialdoppelgitterröhre verwendet, deren Steuergitter eine besondere Bernsteindurchführung besitzt und deren Gitterstrom durch niedrige Anodenspannung und geringe Heizung sehr klein gehalten ist. Eine zweite Röhre in Widerstandsverstärkerschaltung vergrößert die Anodenstromänderungen der Eingangsröhre, die die Größenordnung $10^{-6}$ A haben, auf einige Milliampere. Da die zweite Röhre indirekte Heizung besitzt, kann der Kathode ein anderes Potential gegeben werden als dem Heizfaden, sodaß beide Röhren mit gemeinsamer Heiz- und Anodenbatterie betrieben werden können. Außerdem wird die Änderung der Heizung durch den bei der direkt geheizten Röhre über den Heizfaden fließenden Anodenstrom vermieden, die wegen der Wärmeträgheit des Heizfadens eine Verzerrung des Anodenstromverlaufes zur Folge haben kann. Bei der Eingangsröhre spielt die Wärmeträgheit keine Rolle, da das Verhältnis von Heizstrom zu Anodenstrom größer als $10^4$ ist.

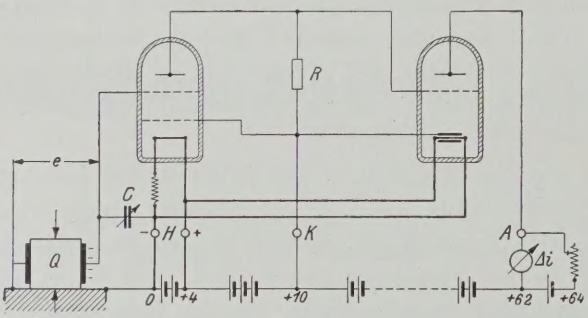



Abb. 1.

Um elektrostatische Beeinflussungen von außen zu vermeiden, sind die Röhren in einen geerdeten Blechkasten, der Quarz in eine Druckkammer aus Stahl eingebaut.

Die größte mit dem Gerät erreichbare Empfindlichkeit beträgt etwa 2 mA/kg. Sie ist gegeben durch die Ladungsempfindlichkeit des Röhrenvoltmeters und durch die Druckempfindlichkeit des Quarzes. Die Ladungsempfindlichkeit ist um so größer, je höher die durch die Größe des Widerstandes $R$ und die Heizung und Anodenspannung der Röhren bedingte Spannungsempfindlichkeit und je kleiner die Kapazität des ersten Gitters gegen Erde ist. Durch Zuschalten eines mit Bernstein isolierten Drehkondensators $C$ kann daher der Meßbereich bequem bis auf 100 kg erweitert werden.

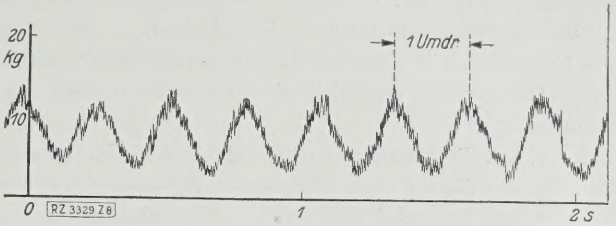


Abb. 2.

Drei grundsätzlich verschiedene Versuche zeigen die vielseitige Anwendungsmöglichkeit des Gerätes. 1. An einer Leitspindelbank wurde der Schnittdruck beim Abdrehen eines zylindrischen Stahlstückes mit verschiedenen Spandicken sowie bei exzentrischer Einspannung (Abb. 2) gemessen. Die Aufnahmen geben die feinen durch Stahlschwingungen hervorgerufenen Druckschwankungen genau wieder. 2. Durch Einbau des Quarzes zwischen das Fundament und den drehbar gelagerten Ständer eines Elektromotors wurde beim Leeranlauf das Beschleunigungsmoment gemessen, das der Ständer auf dem Läufer ausübt. Diesem Beschleunigungsmoment sind gedämpfte Massenschwingungen des Ständers überlagert, da eine völlig starre Lagerung des Ständers gegen das Fundament praktisch nicht möglich ist. 3. An einem senkrecht hängenden, an seinem unteren Ende durch ein Gewicht vorbelasteten Stahldraht war die Quarzdruckkammer so angeordnet, daß die am oberen Ende auftretende Kraft gemessen werden konnte. Durch ein längs des Drahtes fallendes, durchbohrtes Gewicht wurde eine Stoßbelastung auf den Draht ausgeübt. Dadurch entstanden zwei Längsschwingungen, eine langsame Massenschwingung und eine Stoßschwingung, die sich mit Schallgeschwindigkeit in dem Stahldraht fortpflanzt. Die theoretische Analyse der Schwingungen erweist die gute Übereinstimmung zwischen Rechnung und Versuch.

*Lh.*

## Über die Prüfung eines neuen photographischen Verschlusses.

*(On the testing of a novel photographic shutter.)*

*Von* J. S. Anderson. *Transact. Opt. Soc.* ***30.*** *S. 165—178. 1929.*

Die vorliegende Arbeit behandelt die neuen Methoden, mit Hilfe deren ein photographischer Verschluß der Marke „Louvre" in dem *National Physical Laboratory* geprüft wurde. Über den neuartigen für Luftbildkameras bestimmten Verschluß ebenso wie die sinnreichen Methoden zur Prüfung seiner Funktion und Leistung soll nachstehend berichtet werden. Der Verschluß wurde H. B. Stringer patentiert und von der Williamson Manufacturing Co. Ltd. angefertigt. Er stellt eine Art Jalousie dar, die aus einzelnen schmalen streifenförmigen Metallamellen besteht, die an ihren Enden, wie Abb. 1 zeigt, je an einem Zahntrieb $P$ befestigt sind. Die Triebe — in der Abbildung nur an der einen Seite gezeichnet — greifen an beiden Seiten je in zwei Zahnstangen ein, von denen die zwei unteren mit dem festen Rahmen des Verschlußgehäuses starr verbunden sind, während die zwei anderen an einem beweglichen Rahmen, dem sogenannten Schieber befestigt sind. Zum Zwecke der Belichtung wird durch einen Drücker eine Feder ausgelöst, die den Schieber rasch parallel zu seiner Längsrichtung verschiebt. Durch die dabei eintretende Bewegung der Zahnstangen gegeneinander werden die Lamellen um nahezu 180° gedreht und außerdem seitlich verschoben. Die Drehung der Lamellen gibt die Platte der Belichtung frei, während

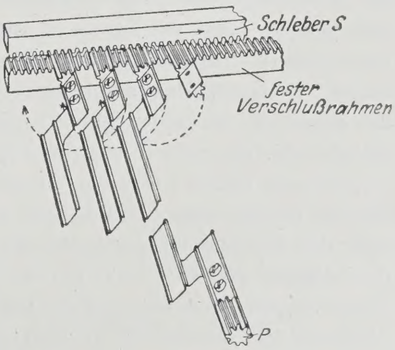


Abb. 1.

die Verschiebung die Lichtverteilung ausgleicht. Schiebt man den Schieber in die Ausgangsstellung zurück, so wird der Verschluß für eine neue Funktion bereit. Die Lamellen sind an ihren Längskanten je mit einem Falz versehen, die von je zwei benachbarten in den Endlagen zur Deckung kommen, so daß ein sicherer lichtdichter Verschluß gewährleistet wird. Im Gegensatz zu anderen Verschlüssen, wird der beschriebene angenähert in der Mitte zwischen der hinteren Fläche des Kameraobjektivs und der Platte eingebaut, derart, daß die Ebene durch die Triebachsen der Lamellen zur optischen Achse senkrecht steht. Auch bei diesem Verschluß wird die Platte, infolge der Unterteilung in Lamellen allerdings streifenweise nacheinander dem Licht freigegeben.

Die Prüfung erstreckte sich, wie es notwendig ist, auf die folgend genannten drei Hauptpunkte:

1. auf die Gesamtzeit während Licht überhaupt durchgelassen wird;

2. auf die für einen bestimmten Plattenpunkt sich ergebende Belichtungsdauer;

3. auf den Grad der wirksamen Belichtung für einen bestimmten Plattenpunkt, d. h. auf Ermittlung des Lichtbruchteiles von dem bei derselben Belichtungsdauer und idealer Verschlußfunktion möglichen.

Zur Feststellung des für einen bestimmten Punkt optisch wirksamen Bruchteiles der Apertur während jeder Phase der Exposition wurden zwei Versuche durchgeführt. Zunächst wurde die Bewegung des Schiebers zu dem festen Rahmen während der Exposition untersucht, dann die optisch wirksamen Flächenelemente der Apertur bei verschiedenen Stellungen des Schiebers. Der erste Versuch

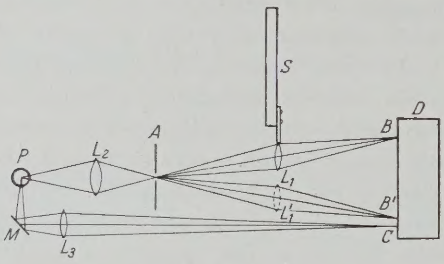


Abb. 2.

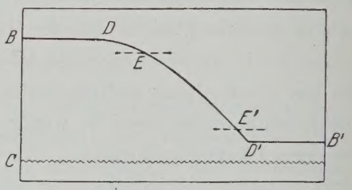


Abb. 3.

liefert eine Beziehung zwischen der Zeit und der Schieberstellung, der zweite eine solche zwischen der Schieberstellung und dem Wirkungsflächenelement. Aus beiden kann auf die Änderung des Einflusses der Wirkungsflächenelemente auf den Lichtdurchgang während des Verlaufes der Belichtung geschlossen werden.

Abb. 2 zeigt das Schema der Anordnung für den ersten Versuch. An dem Schieber *S* des Verschlusses ist die Linse $L_1$ in geeigneter Weise befestigt. Die Achse der Linse $L_1$ steht senkrecht zur Bewegungsrichtung des Schiebers. Das durch die Linse $L_2$ auf die kleine Lochblende im Schirm *A* konzentrierte Licht der Lampe *P* wird durch $L_1$ im Punkt *B* auf der Registriertrommel *D* zum Brennpunkt vereinigt. Löst man den Verschluß aus, dann wird $L_1$ von dem Schieber in die Stellung $L'_1$ gebracht. Dementsprechend bewegt sich das Bild der Lochblende von *B* nach *B'*. Durch den Spiegel *M*, der in der Sekunde 1000 Schwingungen ausführt, und die Linse $L_3$ wird ein weiteres Lichtbündel, das von *P* ausgeht, auf der Trommel, bei *C* vereinigt. Während der Funktion des Verschlusses befindet sich die Trommel in raschen Umdrehungen. Mit der an sich einfachen Apparatur erlangt man dabei eine in Abb. 3 wiedergegebene Aufzeichnung. Die Kurve *BB'* ist die Spur des Blendenbildes, während die mit Hilfe des schwingenden Spiegels erlangte Wellenlinie *C* die Zeitkurve darstellt. Jeder ganzen Welle entspricht die Zeit von 1/1000 Sek. Während die Gleichförmigkeit der Trommelbewegung durch die der Wellen der Kurve *C* kontrolliert wird, würde der Abschnitt *DD'* der den Bewegungsverlauf des Schiebers darstellenden Kurve *BB'* gerade verlaufen, wenn die Verschlußbewegung gleichförmig erfolgte. Die Kurve zeigt, daß die Schieberbewegung, von den kurzen Anlauf- und Auslaufzeiten *DE* und *E'D'* abgesehen, während des größten Teiles der Belichtung annähernd konstant verläuft. Günstig für die Verschlußfunktion ist es, daß während des größeren Teiles der Anlauf- und Auslaufzeit des Schiebers überhaupt noch kein bzw. kein Licht mehr durchgelassen wird. Nur während der Zeit der Exposition, der der zwischen *E* und *E'*

liegende Kurvenabschnitt der Kurve $BB'$ entspricht, werden photographisch wirksame Lichtmengen durchgelassen.

Der zweite Versuch sollte für eine Anzahl Plattenpunkte Aufzeichnungen der wirksamen Flächenteile der Apertur des Objektivs bei verschiedenen Stellungen des Schiebers ergeben. In Abb. 4 stellt $M$ ein Mikrometer dar, an dem die Stellungen des Schiebers $S$ zum festen Verschlußrahmen abgelesen werden. In der Bildebene der Kamera ist die mit einer Anzahl feiner Durchbohrungen $H$, die die zu untersuchenden Plattenpunkte darstellen, versehene Messingplatte $P$ angeordnet. Hält man eine kleine Lampe hinter eine dieser Bohrungen $H$, so trifft das durchfallende Licht nur insoweit auf die Linse, als es nicht durch Lamellen des Verschlußschiebers abgeblendet wird. Dieses Licht tritt in den Objektraum als paralleles Büschel aus. Ordnet man den Schirm $A$ so an, daß dieses Licht normal auf ihn fällt, so bildet die beleuchtete Fläche einen Querschnitt des parallel auffallenden Büschels, das die Linse nach $H$ wirft und wird von dunklen Streifen durchsetzt, die durch die Verschlußlamellen erzeugt werden. Man erhält so ein Maß des Lichtes, das bei einer bestimmten Schieber- bzw. Verschlußstellung nach $H$ gelangt. Aus der in Abb. 3 abgebildeten Kurve entnimmt man dann die Belichtungsdauer. Der ideale Verschluß läßt während dieser Zeit den maximalen Lichtbetrag nach $H$ durch, den man aus der beleuchteten Fläche auf dem Schirm ermittelt, nachdem der Verschluß aus der Kamera entfernt worden ist. Praktisch läßt der Verschluß in jeder Phase weniger Licht durch; welchen Bruchteil, das läßt sich ermitteln, indem man die dunklen Streifen von der Fläche maximaler Beleuchtung abzieht. Integriert man unter Berücksichtigung der Zeit, so erhält man ein Maß für die nach $H$ durch den Verschluß durchgelassene photographisch wirksame Energie. Ihr Verhältnis zu dem entsprechenden Maß für den idealen Verschluß ist der optische Wirkungsgrad des Verschlusses.

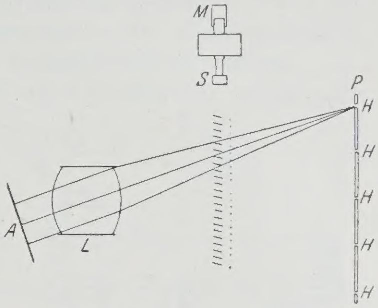


Abb. 4.

Da die Integration instrumentell nicht durchführbar war, mußte ein umständliches Verfahren eingeschlagen werden, hinsichtlich dessen Einzelheiten auf die Originalarbeit verwiesen werden muß.

*W. Keil.*

## Einfluß der Ionisierung auf die Sauggeschwindigkeit von Diffusionspumpen.

*(High Vacuum Technique. — Experimental Study of Effect of Ionisation on Pump Speeds.)*
*Von* Char. T. Knipp und P. C. Ludolph. *Journ. Opt. Soc. Amer.* ***19.*** *S. 152—157. 1929.*

Einleitend beschreiben die Verfasser verschiedene Formen von ihnen entwickelter ein- und zweistufiger Glasdiffusionspumpen. Ferner werden interessante Beobachtungen mitgeteilt über den Einfluß der Ionisierung auf die Sauggeschwindigkeit. In die Pumpe waren drei Elektroden eingeschmolzen, je eine im Vorvakuum- ($E_1$) und Hochvakuumstutzen ($E_2$) und im Siedegefäß. Gemessen wurde an einer zweistufigen Pumpe bei Drucken von 0 bis 0,2 mm Hg. Als Spannungsquelle diente eine 50000 Volt liefernde Induktionsspule mit Serienfunkenstrecke. Ist $E_1$ positiv, $E_2$ negativ, so resultiert eine Erhöhung der Sauggeschwindigkeit, im umgekehrten Falle eine Erniedrigung. Die Änderungen beginnen bei etwa 0,01 mm Hg und erreichen bei höheren Drucken ganz beträchtliche Werte ($50\%$ und mehr).

Eine vollständige Deutung der Erscheinung wollen die Verfasser zunächst nicht geben. Die angestellten theoretischen Überlegungen befriedigen wenig. Die Erscheinung verdiente jedoch mit Hinblick auf praktische Anwendung weitere Untersuchung. *Sewig.*

## Ultramikroskopische Untersuchung von Luftschwingungen.

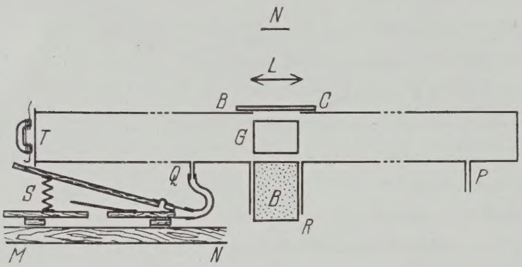
*(Analyse ultramicroscopique des vibrations aériennes.)*
*Von* M. Z. Carrière. *Journ. d. Phys.* ***10.*** *S. 198—208. 1929.*

Es wird eine Methode beschrieben, die es gestattet, die Amplitude von Luftschwingungen, die im Inneren eines Rohres erzeugt werden, zu messen, indem man, wie bei dem Ultramikroskop, in der Luft schwebende Staubteilchen beleuchtet und einzeln beobachtet. Der Verfasser leitet in

einem mathematischen Ansatz die Bedingungen ab, die ein Staubteilchen erfüllen muß, wenn die äußerste Meßgenauigkeit erreicht werden soll.

Die Methode wurde auf verschiedene Probleme angewendet, insbesondere auf das der Amplitudenänderung längs eines Röhrendurchmessers, wobei das Vorhandensein zweier Maxima in der Nähe der Röhrenwandung bestätigt wird. Sie gestattet es auch, den Einfluß von Hindernissen, die in die schwingende Luftsäule eintauchen, zu untersuchen, wie den, den mit dem Rohr in Verbindung stehende Luftvolumina ausüben.

Die aus der Abbildung zu ersehende Apparatur ist verhältnismäßig einfach. Ein 35 mm Durchmesser aufweisendes Rohr von 170 cm Länge ist der Hauptbestandteil der Versuchsanordnung. Dies Rohr wird an den Stirnseiten dicht abgeschlossen, an der einen durch die Telephonmembran *T*, die als Schallquelle dient und zu diesem Zweck durch den in der Zeichnung angedeuteten, vom Wechselstromlichtnetz aus gespeisten Elektromagneten angeregt. Zur Beleuchtung des Beobachtungsfeldes dient der Nernststab *N*, der im Inneren des Rohres parallel zu dessen Achse abgebildet wird. Beobachtet wird durch das ebenso wie die Beleuchtungsöffnung *BC* mit Spiegelglas abgedeckte Fenster *G*, in senkrechter Richtung zur Zeichenebene. Der durch den Pfropfen *B* verschlossene Ansatz *R* gestattet es, das Rohrinnere zu reinigen und den Beobachtungsraum mit Objekten zu beschicken, deren Verhalten in schwingender Luft untersucht werden soll. Der enge Rohrstutzen *P* dient zum Anschluß einer Evakuierleitung. Um den abgeschlossenen Raum im Rohr mit Staubteilchen enthaltender Luft zu beschicken, wird *P* geöffnet, mittels des Blasebalges *S* der vorher auf die Platte *MN* gestreute Staub angesaugt und durch den Anschlußstutzen *Q* in das Rohrinnere geblasen. Wird der Blasebalg betätigt, ohne daß die Platte *MN* bestaubt worden war, so wird der Staub, der sich in der Röhre niedergeschlagen hat, durch die Luftstöße des Blasvorganges in Bewegung versetzt. Unmittelbar nach Betätigung des Blasebalges werden die zu *P* und *Q* führenden Verbindungsschläuche mittels Schlauchklemmen abgeschlossen. Beobachtet wurde mit einem langbrennweitigen Mikroskop, dessen Okular mit einem einfachen Fadenmikrometer versehen ist, das aus zwei parallelen Fäden, deren einer beweglich, versehen ist. Das Okular kann meßbar gedreht werden. Bei der Länge des Resonators, d. h. des Rohres, ergibt die Normalfrequenz von 100 bei der Temperatur von 20 Grad am geschlossenen Ende einen Schwingungsknoten und vor dem Beobachtungsfenster einen Schwingungsbauch. *W. Keil.*

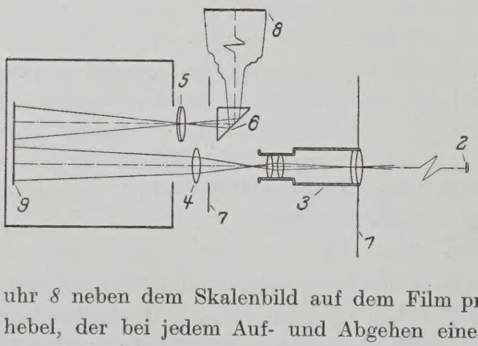



## Registriergalvanometer.

*(A cinematographic recording galvanometer.)*

*Von* S. Bayne-Jones und L. V. Foster. *Journ. Opt. Soc. Amer.* ***19.*** *S. 73—77. 1929.*

Die vorliegende Konstruktion einer Galvanometer-Registrieranordnung ist aus dem Bedürfnis entstanden, über längere Zeiten in Abständen von einigen Minuten Ablesungen eines Spiegelgalvanometers zusammen mit Zeitmarken aufzuzeichnen. Den grundsätzlichen Aufbau der Anordnung zeigt die Abbildung. *1* ist die Galvanometerskala, *2* der Galvanometerspiegel (50 cm von der Skala entfernt), *3* das Fernrohr, *4* ein Objektiv, welches das Bild der durch mehrere hochkerzige Lampen beleuchteten und am Spiegel *2* reflektierten Skala auf den Film *9* entwirft. Neben der Projektionslinse *4* ist ein weiteres Objektiv *5* angeordnet, welches das hell erleuchtete Zifferblatt einer Weckeruhr *8* neben dem Skalenbild auf dem Film projiziert. Die Filmkamera enthält einen Betätigungshebel, der bei jedem Auf- und Abgehen einen Zeitverschluß öffnet und schließt und den Weitertransport des Films um eine Bildhöhe bewirkt. Vor den Objektiven ist ein Schlitzverschluß an-

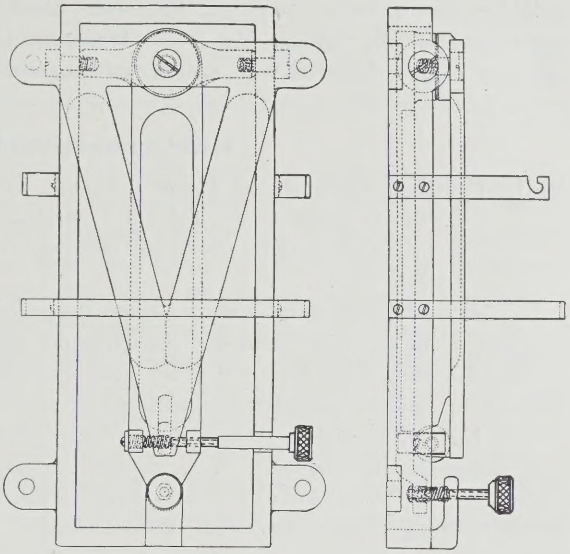


gebracht, der — entsprechend seiner Einstellnng — Expositionen von 1 bis $^1/_{100}$ s liefert und mit dem Kameraverschluß gleichzeitig über ein Untersetzungsgetriebe durch einen kleinen Elektromotor angetrieben wird. Genaue Konstanz der Umdrehungsgeschwindigkeit des ans Netz angeschlossenen Motors erübrigt sich, weil die Zeit durch das mit aufgenommene Zifferblatt der Uhr auf jeder Aufnahme vermerkt ist. *Sewig.*

## Justierbarer Wandarm für Spiegelgalvanometer.

*(An adjustable mounting for wall galvanometers.)*

*Von* B. J. Smith und L. W. Taylor. *Journ. Opt. Soc. Amer.* ***19.*** *S. 93—94. 1929.*

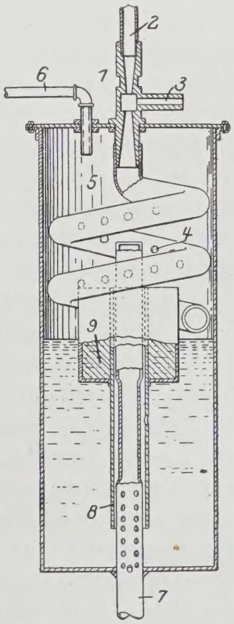


Die in der Abbildung schematisch dargestellte Wandaufstellung, die für Spiegelinstrumente, insbesondere Galvanometer, geeignet ist, zeichnet sich durch die Möglichkeit der Justierung um zwei aufeinander senkrechte horizontale Achsen aus (die Justierung um die Vertikalachse ist fast immer am Instrument selbst möglich). Die Vorrichtung besteht aus drei gegossenen Eisenrahmen: der eine wird an der Wand befestigt, der zweite nimmt das Galvanometer auf und der dritte dient zur justierbaren Verbindung der beiden. Die Betätigung der Feinbewegungen erfolgt durch Schrauben mit großen Rändelköpfen. Der an der Wand befestigte Rahmen trägt auch einen weiter ausladenden Arm für das Fernrohr, der ebenfalls um die horizontale, der Wand parallele Achse in Feinbewegung drehbar ist. *Sewig.*

## Wasserstrahlgebläse für Laboratorien.

*(Air compressor for small labaratories.)*

*Von* Harry und Walter Gilbert. *Journ. Opt. Soc. Amer.* ***19.*** *S. 148—149. 1929.*




Die allgemein bekannten Störungen und Unzuträglichkeiten, die mit den handelsüblichen kleinen Wasserstrahlgebläsen verbunden sind, haben zur Konstruktion der nachstehend beschriebenen verbesserten Form geführt (s. Abb.).

Der Körper *1* stellt eine normale Metall-Wasserstrahlsaugpumpe dar, die bei *2* an den Wasserhahn angeschlossen ist und bei *3* Luft ansaugt. Das Wasser-Luftgemisch trennt sich infolge der Zentrifugalkraft in dem an der Innenseite mit Luftaustrittsöffnungen *4* versehenen, schraubenförmig gewundenen Kupferrohr nahezu vollständig. Die in dem Raum *5* angesammelte Druckluft kann an dem Rohr *6* entnommen werden. Der Wasserabfluß geschieht durch die Öffnungen des axial von unten eingesetzten Rohres *7*. Gegen dieses, mit einem Wasserfilm abgedichtet, gleitet der einzige bewegliche Teil, das Rohr *8*, welches oben einen Schwimmer *9* trägt. Bei steigendem Wasserniveau im Gefäß steigt auch der Schwimmer und öffnet mehr von den Austrittsöffnungen am Rohr *7*. Ist der Druckluftentnahmestutzen *6* ganz geschlossen, so steigt der Schwimmer, bis alle Öffnungen auf Rohr *7* freigegeben sind. Als neu nehmen die Verf. in Anspruch die Verwendung des Schraubenrohres zur wirksamen Trennung von Luft und Wasser und des Schwimmers zur Regulierung des Wasserauslasses. — Die Verwendung eines Wasserstrahlgebläses an Stelle der immer mehr in Gebrauch kommenden kleinen, elektrisch angetriebenen

Kapselgebläse kommt nur da in Frage, wo sehr billiges Druckwasser zur Verfügung steht oder die Druckluft so selten gebraucht wird, daß die etwas höheren Anschaffungskosten der kleinen Kapselgebläse gegenüber der neuen Wasserstrahlpumpe ins Gewicht fallen. *Sewig.*

### Vakuumbogenlampe.

*(A vacuum arc.)*

*Von* Vernon M. Albers. *Journ. Opt. Soc. Amer.* ***19.*** *S. 146—147. 1929.*

Es wird eine Vakuumbogenlampe einfacher Konstruktion für spektroskopische Zwecke beschrieben. Die zur Aufnahme der Elektroden dienenden eisernen Halter sind an dicken, wassergekühlten Messingbacken befestigt. Die untere Elektrode kann durch Zahnstange und Ritzel von außen her verstellt werden. Der Bogen brennt in einem Glasrohr, das mit geeignetem Fenster versehen ist und evakuiert bzw. mit einem Gas gefüllt werden kann. *Sewig.*

---

## Bücherbesprechungen.

**Müller-Pouillets** Lehrbuch der Physik, 11. Aufl., Bd. 1 (Mechanik, Akustik). Herausgegeben von E. Waetzmann. Gr.-8°. Teil 1 u. 2 (Mechanik) XVI, 1258 S. mit 1071 Fig. Geb. 82 RM.; Teil 3 (Akustik) XII, 484 S. mit 393 Fig. Geb. 32 RM. Fr. Vieweg & Sohn A. G., Braunschweig 1929.

Der vorliegende Band stellt in seinen wesentlichsten Teilen eine gänzliche Neufassung dar, was sich schon äußerlich durch den gegenüber der früheren Auflage um das Doppelte gestiegenen Umfang kundtut. Diese Erweiterung ist nicht allein eine Folge der fortgeschrittenen physikalischen Erkenntnis, sondern hauptsächlich auch durch eine umfassendere Darstellung der einzelnen Teilgebiete bedingt, besonders solcher, die in neuerer Zeit an Bedeutung gewonnen haben. Überdies sind technische Anwendungen z. T. ziemlich weitgehend berücksichtigt. Bei der erforderlichen Aufteilung des Stoffs unter namhafte Fachbearbeiter waren gewisse Verluste an Einheitlichkeit der Darstellung sowie gelegentliche Wiederholungen nicht zu vermeiden, wenngleich diese Darstellungsweise andererseits die selbständige Lektüre einzelner Kapitel erleichtert. Zu begrüßen ist, daß nunmehr bei der mathematischen Behandlung der Probleme durchweg die Kenntnis der Elemente der Infinitesimalrechnung vorausgesetzt wird. Der Gesamtband gliedert sich in drei Teilbände, von ihnen umfaßt der erste neben einführenden Kapiteln die Mechanik starrer Körper, der zweite die der nichtstarren Körper, der Flüssigkeiten und der Gase, der dritte die Akustik. Aus dem reichen Inhalt sei nur einzelnes hervorgehoben, das für den Leser der Zeitschrift von besonderem Interesse sein könnte. Eins der einleitenden Kapitel behandelt die Grundlagen und Methoden der Längen-, Massen- und Zeitmessung, wobei besonders die modernen Hilfsmittel der technischen Längenmessungen (Meßmaschinen, Lehren usw.) näher beschrieben werden. Aus der eingehenden Darstellung der Mechanik starrer Körper sei der Abschnitt über allgemeine Schwingungslehre erwähnt, der das Wichtigste über ungedämpfte und gedämpfte Schwingungen, Fourier-Zerlegung, Koppelschwingungen enthält, ferner die Behandlung technisch-statischer Probleme (Fachwerke u. a.), sowie die näheren Ausführungen über Bau und Gebrauch der Waage. Mit der mathematischen Behandlung des Stoffs ist zugleich eine schrittweise Einführung in die wichtigsten Begriffe und Operationen der Vektorrechnung verbunden. Den Schluß bildet ein Sonderkapitel über die Kreisellehre; in ihm werden neben den theoretischen Grundlagen besonders die praktischen Anwendungen in der Geophysik und Ballistik, ferner die Kreiselkompassse und Schiffskreisel in anregender und klarer Weise erörtert. Der zweite Teilband bringt einen Abschnitt über den mechanischen Aufbau der Festkörper in atomistischer Betrachtung, der die Grundzüge der Bornschen Gittertheorie sowie die neueren Versuche über die mechanischen Eigenschaften der Einkristalle, insbesondere die bei der Deformation auftretenden Gleitvorgänge bespricht. Aus der ausführlichen Darstellung der Strömungslehre sei die Behandlung aeronautischer Probleme (Tragflügeltheorie, Propeller) angeführt. Ein Sonderkapitel ist der Beschreibung der wesentlichsten Luftpumpentypen und ihrer Wirkungsweise gewidmet. Der dritte Teilband gibt einen guten Einblick in die außerordentliche Entwicklung der Akustik in der letzten Zeit. Neben der physiologischen Akustik (Hörtheorie, Analyse der Sprachlaute), deren Ergebnisse an Hand des neuesten experimentellen Materials dargestellt werden, sind

hauptsächlich die Hilfsmittel der Schallerzeugung und Schallmessung ausführlich erörtert; von besonderem Interesse dürften hier die Ausführungen über die elektroakustischen Schallgeber (Lautsprecher) und Schallempfänger (Mikrophon, Kondensatormikrophon, Hitzdrahtempfänger) und die Anwendung der letzteren zur absoluten Schallintensitätsmessung und zur Schallanalyse sein. Aus den Abschnitten über Schallausbreitung sei die Behandlung der akustischen Filter in Analogie zu den elektrischen Siebketten und die Darstellung der Ergebnisse der experimentellen und theoretischen Behandlung der Raumakustik erwähnt. Das Streben nach faßlicher Darstellungsweise tritt überall deutlich zutage und wird durch ein reichhaltiges und technisch vollkommenes Abbildungsmaterial erfolgreich unterstützt.

*Goens.*

**Müller-Pouillets** Lehrbuch der Physik. 11. Aufl., Bd. 2. Lehre von der strahlenden Energie (Optik), Zweite Hälfte, I. Teil. Herausgegeben von K. W. Meißner (Frankfurt a. M.). 24,5×15,5. XVI, 798 S. mit 498 Fig. im Text und auf 3 Tafeln. Friedr. Vieweg & Sohn Akt.-Ges., Braunschweig 1929.

Der vorliegende zweite Halbband erscheint drei Jahre nach dem ersten Halbband. Welche Umstände diese Verzögerung bewirkt haben, setzt der Herausgeber, K. W. Meißner, im Vorwort auseinander. Das Hinscheiden Otto Lummers machte zunächst eine Klärung des Redaktionsverhältnisses notwendig; während dieser Zeit hatte eine Reihe von Mitarbeitern die Bearbeitung ihrer Beiträge ausgesetzt, so daß sich die Fertigstellung vieler Manuskripte unerwartet lange hinzog. Bei den schnellen Fortschritten vieler Gebiete der physikalischen Optik, vor allem soweit sie mit der Atomphysik in Zusammenhang stehen, ist es kein Wunder, daß nach Fertigstellung aller Manuskripte eine Neubearbeitung einiger frühzeitig eingelieferter notwendig wurde. Da, wo dies nicht mehr möglich war, ist die neuere Literatur wenigstens durch kurze Hinweise berücksichtigt.

Stoffeinteilung und Autorenauswahl gehen zum größten Teil noch auf Lummer zurück.

Der vorliegende erste Teil des zweiten Halbbandes enthält im einzelnen folgende Abschnitte.

Geradlinige Polarisation des Lichts von K. W. Meißner. (Nörrenbergscher Apparat, Brewstersches Gesetz usw.).

Doppelbrechung von E. Buchwald, behandelt die Fresnelsche Wellenfläche, die innere und äußere konische Refraktion usw.

Interferenzerscheinungen im polarisierten Licht von E. Buchwald. (Elliptische Polarisation, Babinetscher Kompensator, Theorie und Beschreibung von Interferenzerscheinungen im parallelen und konvergenten Licht).

Drehung der Polarisationsebene von E. Buchwald. (Beschreibung der üblichen Apparate wie Soleil, Lippich usw.; Saccharimetrie; die Fresnelsche Theorie der Drehung der Polarisationsebene).

Kristalloptik der Röntgenstrahlen von E. Buchwald. (Beschreibung der verschiedenen Verfahren zur Aufnahme von Laue-Diagrammen und Theorie der Auswertung.)

Auf das nächste Kapitel, Photometrie von H. Kohn, muß besonders hingewiesen werden; die Bearbeitung dieses Kapitels auf 216 Seiten entspricht — man möchte fast sagen endlich — der Bedeutung des Gegenstandes. Hierbei sind auch die Bedürfnisse des Lichttechnikers berücksichtigt worden; vgl. z. B. § 45 S. 1275, „Die für die ‚Güte' der Beleuchtung maßgebenden Faktoren" oder die Tabelle auf S. 1291, die die für die verschiedenen Arten von Innenräumen notwendigen mittleren Beleuchtungsstärken angibt. Um den außerordentlich reichen Inhalt des Kapitels Photometrie zu charakterisieren, sei die Gliederung desselben angegeben: I. Allgemeine Grundlagen der Photometrie; II. Apparate für die Photometrie gleichfarbiger Lichter, A. Photometer für weißes Licht (Abstands-, Sektoren- und Polarisationsphotometer), B. Beleuchtungsmesser, C. Hochempfindliche Photometer (Photometer nach Gehlhoff-Schering usw.), D. Spektralphotometer; III. Methoden und Apparate der heterochromatischen Photometrie, A. Methoden der heterochromatischen Helligkeitsvergleichung, B. Flimmerphotometrie, C. Die Empfindlichkeitskurve des Auges, D. Methoden zur Überführung des heterochromatischen in einen praktisch isochromatischen Vergleich. Abgeschlossen wird das Kapitel durch Abschnitte, die sich mit dem Kolorimeter, der Ulbrichtschen Kugel, den objektiven Methoden und der photographischen Photometrie beschäftigen.

An dieser Stelle sei auch auf den — allerdings erst an späterer Stelle erscheinenden — Abschnitt, Ziel und Grenzen der Lichttechnik von derselben Verfasserin hingewiesen, der schon in seiner Überschrift auf das bekannte Lummersche Buch hinweist.

Der Abschnitt Apparate und Methoden zur Untersuchung des gesamten Spektrums beschreibt im ersten, von K. W. Meißner verfaßten Teil in besonders klarer Darstellung die Prismen- und Gitterapparate, die Interferenzspektroskopie und das System der Wellenlängennormalen; die Apparate und Methoden im Ultraroten bzw. Ultravioletten werden von G. Hettner und M. Czerny bzw. E. Gehrcke beschrieben; eine Systematik der verschiedenen Erzeugungsarten von Spektren (Funkenspektrum, Bogenspektrum usw.), von K. W. Meißner schließt sich an.

Theoretische und experimentelle Bearbeitung der Gesetze der schwarzen Strahlung sind zweckmäßigerweise getrennt, und zwar von W. Pauli, G. Czerny und G. Hettner (bzw. K. W. Meißner: Strahlungsdruck) bearbeitet worden.

Die optische Thermometrie (Temperaturbestimmung auf Grund von Strahlungsmessungen) ist von H. Kohn behandelt worden.

Die Theorie der Reflexion, Brechung und Dispersion ist von R. Minkowski — wie es der Eigenart des Gebietes entspricht — zunächst auf Grund der älteren klassischen Vorstellungen behandelt worden, um dann in einem Schlußabsatz — Quantentheorie der Dispersion — die Hauptgesichtspunkte für eine quantentheoretische Darstellung des Gegenstandes zu geben. — Ein Sachregister bildet den Schluß des Bandes. *Dziobek.*

**H. Lundegårdh.** Die quantitative Spektralanalyse der Elemente. Gr. 8⁰ VI. 155 S. mit 43 Abb. im Text und 13 Tafeln. G. Fischer, Jena 1929. Geb. 20,—R*M*.

Das glänzend ausgestattete Werk stellt die erste selbständige Monographie über die quantitative Spektralanalyse dar. Der Verfasser, der als experimentell arbeitender Biologe (im Experimental-Fältet Stockholm) mit den Methoden der Mikrochemie bestens vertraut ist, betont in der Einleitung die besonderen Vorzüge der Spektralanalyse, die verhältnismäßig einfache und genügend genaue Ermittlung kleiner Mengen vieler Elemente aus kleinen Proben. Er vermeidet theoretische Auseinandersetzungen physikalischer Art, spendet dafür aus seinem reichen Schatze analytischer Erfahrungen vieles Neue. Die Einleitung bringt auf 26 Seiten eine geschichtliche Darstellung der Entwicklung der quantitativen Methode, wobei auch die klassische Tabelle von de Gramonts 307 letzten Linien nicht fehlt. Durch photometrische Messungen hat er die de Gramontsche Ansicht die letzten Linien des Elements seien nicht notwendig die stärksten, gestützt, im Gegensatz zu der Anschauung Gerlachs; zum Beweis führt er seine Messungen an 4 Ca-Linien an. Der geschichtliche Überblick wird bis zu den jüngsten Fortschritten der Methode, der Einführung der Linienpaare durch Gerlach und Schweitzer fortgeführt. Daran schließt sich das originellste Kapitel aus der neuen spektroskopischen Literatur, die Rehabilitierung der Flammenspektra, die zwar zur Begründung der Spektralanalyse überhaupt geführt hatten (durch Kirchhoff und Bunsen), dann aber einer unverdienten Nichtbeachtung anheimgefallen waren. Der Verfasser hat die leuchtende Flamme in mehrfacher Hinsicht verbessert mit dem Ziele, so gleichmäßige Verdampfungsbedingungen zu schaffen, daß man sich auf die Flamme verlassen kann. Seine Verbesserungen beziehen sich auf den Zerstäuber, auf den Bunsenbrenner und auf den Gasapparat, der die Flamme des Schweißbrenners speist. Er verwendet ein Azetylen-Luftgemisch. Die Flamme verbraucht in der Stunde mindestens 30—50 l Gas und 200 l Luft und liefert eine sehr hohe Temperatur. Die Angaben für den Aufbau und den Betrieb des Kompressors, der die Druckluft erzeugt, der Azetylenflasche (jedes Gas hat sein eigenes Manometer) und der Zerstäuberanlage sind so ausführlich und auf so viele Erfahrungen gegründet, daß ein jeder danach ohne Fehlschläge arbeiten kann. Als Spektrograph diente entweder ein festarmiges Spektroskop mit zwei Prismen *(diese Zeitschr.* **27.** *S. 271—276. 1907)* oder der Zeissische Spektrograph für Chemiker. Zur Auswertung der Schwärzungen hat Verfasser sich ein thermoelektrisches und ein photoelektrisches Photometer gebaut, beide werden auch durch gute Skizzen und Bilder ausführlich erläutert. Auf weiteren 40 Seiten gibt Verfasser dann einen genauen Bericht über den Analysengang, die Verwendung von Standardlösungen, die Vorbereitung der Proben und insbesondere über die Möglichkeit der gegenseitigen Beeinflussung

mehrerer Elemente. Aus jeder Seite sprechen die sorgfältigen Beobachtungen des unverdrossenen Naturforschers, der den Schwierigkeiten nicht aus dem Wege geht, sondern nachgeht. Nach dem Studium einzelner Elemente wendet er seine Methoden auf die Analyse von Boden-Extrakt an und gibt u. a. eine Methode zur sehr genauen Bestimmung von Li an, die auch die metallurgisch arbeitenden Chemiker interessieren wird. Ferner gibt der Verfasser eine Tabelle von ca. 100 empfindlichen Flammenlinien für 25 Elemente und eine weitere Zusammenstellung der geringsten mit der Flammenmethode mittels seiner Apparatur nachweisbaren Mengen von 23 Elementen. Demnach ist Blei mit 0,13 mg außergewöhnlich schlecht nachzuweisen. Es folgen Hg, Bg, Au, Cd mit 0,07 bis 0,037 mg. Alle übrigen Elemente seiner Liste sind noch in einzelnen Hundertstel bis Tausendstel Milligramm nachweisbar. Die direkte Photometrierung des Flammenspektrums ist nur für wenige Elemente anwendbar. Das zweite Hauptkapitel behandelt auf rund 60 Seiten in gleicher Ausführlichkeit die quantitative Analyse der Funkenspektra. Das Kapitel zeichnet sich durch große Vollständigkeit aus und bringt für die photometrische Auswertung der Schwärzung von Lösungsspektren eine Neuerung, die sich bei den festen Elektroden bereits bestens bewährt hat. Während ein Gerlach-Schweitzersches Linienpaar aus einer Linie des Grundelementes und einer Linie der Verunreinigung besteht, deren Intensitäten verglichen werden, schafft Lundegårdh den Begriff von Linienpaaren auch bei Lösungen. Eines seiner Linienpaare wird gebildet aus einer Linie der Verunreinigung und einer Linie eines in bekannter Konzentration zugesetzten „Leitstoffs", er vermeidet es also, eine Linie der Elektrode zu wählen, weil deren Schwärzung nicht genügend sicher konstant sei. Es eignet sich nun zur Lieferung einer Leitlinie nicht für jedes Element jedes andere Element, man wählt vielmehr zweckmäßig ein solches, von dem eine oder einige Linien den empfindlichen Linien der Probe im Spektrum recht nahe liegen, genau aus demselben Grunde, aus dem Gerlach und Schweitzer so verfahren, nämlich um von der spektralen Plattenempfindlichkeit und von etwaigen Schwankungen in der Dicke der Emulsion unabhängig zu werden. Für 19 Stellen im Spektrum hat Verfasser bestimmte Linien als Leitlinien empfohlen, und zwar von den Elementen Al, Ba, Be, Cd, Mg und Na. Durch die Einführung der Leitlinien wird man in weitem Umfange von der Ungleichförmigkeit des Funkens frei; dagegen würde Referent eine gleichmäßige Expositionszeit nach wie vor empfehlen. Es folgt eine Zusammenstellung der empfindlichen Linien von 40 Elementen, nach deren Symbolen alphabetisch geordnet. In dem Ausblick schildert Verfasser die Anwendungen der Spektralanalyse in der Biologie, z. B. das Studium der Aufnahme von K, Ca und Ag durch Keimpflanzen aus einer Lösung, den Nachweis metallischer Gifte im menschlichen oder tierischen Körper und in Gewässern, die spektrographische Bestimmung kleiner Mengen von P im Pflanzen- und Tierkörper. Es folgen die Anwendungen in der Mineralogie und Metallurgie, wobei auf die Bedeutung der neuen Flammenmethode für die Bestimmung von Li in Al-Legierungen hingewiesen wird, und schließlich die guten Aussichten der Spektralanalyse im Dienste der Agrikulturchemie und Bodenkunde, die durch Versuchsprotokoll erläutert wird. Die 13 Tafeln enthalten Flammen- und Funkenspektra der Elemente mit abgestufter Konzentration in einer geradezu glänzenden Wiedergabe. So ist zu hoffen, daß das inhaltreiche Werk zur weiteren Ausbreitung der quantitativen Spektralanalyse einen starken Anreiz geben wird. *F. Löwe.*

**Die Röntgen-Literatur.** IX. Teil, 1928. Autoren- und Sachregister 1928, Patentliteratur 1928. Im Auftrag der Deutschen Röntgengesellschaft herausgegeben von Dr. Hermann Gocht. 8⁰. XX, 360 S. Stuttgart 1929. Ferd. Enke. Geb. 41,00 RM.

Ein für den Fachmann, sei er Mediziner, Ingenieur, Physiker oder Literat, unentbehrliches Nachschlagewerk. Es enthält auf 130 S. über 3200 nach Autoren geordnete Einzelnachweise, ein 144 S. starkes, nach zweckmäßigen Gesichtspunkten unterteiltes Sachregister mit 5 Abteilungen: a) Bücher und Berichte, b) Physik und Technik (24 S. mit 6 Untergruppen und 37 Stichworten), c) Diagnostik, d) Therapie, e) Gesetz, Gericht, Gutachten, Unterricht. Der 3. Teil bringt Patente und Gebrauchsmuster der beiden letzten Jahre, nach Fach- und Untergruppen geordnet. Inhalts- und Stichwortverzeichnisse gestatten schnelles Auffinden. Der (hauptsächlich physikalisch eingestellte) Berichterstatter hat auf seinem Gebiet das Literaturverzeichnis auf Vollständigkeit — insbesondere an ausländischen Arbeiten — geprüft und gefunden, daß mit wenigen Ausnahmen, in denen die Veröffentlichung an abgelegener Stelle erfolgte, die gesamte Röntgenliteratur des Jahres 1928 aufgenommen ist. *Paul Knipping, Darmstadt.*

**Relais und Schutzschaltungen in elektrischen Kraftwerken und Netzen.** Vorträge von A. Rachel-Dresden, R. Rüdenberg-Berlin, M. Schleicher-Berlin, E. Sommer-Dresden, O. Mayr-Berlin, E. Rühle-Berlin, M. Neustätter-Berlin. Veranstaltet durch den Elektrotechnischen Verein E.V. zu Berlin, in Gemeinschaft mit dem Außeninstitut der Technischen Hochschule zu Berlin. Herausgegeben von R. Rüdenberg. 8⁰. VII, 281 S. m. 336 Abb. Julius Springer, Berlin 1929. Geb. RM. 25,50.

Das Buch verdankt seine Entstehung einer Vortragsreihe des Elektrotechnischen Vereins Berlin und des Außeninstituts der Technischen Hochschule zu Berlin. Es beschäftigt sich mit der Verwendung der Relais zu Schutzzwecken in der *Starkstromtechnik* und will ausdrücklich die Relais in Fernmeldeanlagen sowie die Verwendung der Relais zur Fernbetätigung oder zur selbsttätigen Steuerung getrennt behandelt wissen. In dem ersten Aufsatz werden die Relais als Sicherheitsorgane der Elektrizitätsversorgung, im zweiten die Fehlerarten des praktischen Netzbetriebes und die Schutzmaßnahmen besprochen. Eine anschauliche Darstellung der Grundprinzipien der Relaissysteme, ihrer Wirkungsweise und ihrer Konstruktion enthält der dritte Aufsatz, in dem insbesondere wichtige Hinweise für die Wahl der verschiedenen Relaissysteme gegeben werden. Der vierte Teil behandelt die bestehenden Relaiskonstruktionen und ihre Verwendung, Prüfung und Wartung, der fünfte und sechste Aufsatz die Anwendung der Relais zum Schutz von Generatoren, Transformatoren, Sammelschienen, Einzelleitungen sowie von ganzen Netzsystemen. Unter anderem werden hier Ausführungsformen des Backholzrelais für Transformatorenschutz sowie verschiedene moderne Ausführungsformen von Netzschutzrelais beschrieben. Der letzte Vortrag gibt einen Überblick über die im Auslande, insbesondere in Amerika, gebräuchlichen Relaisformen und bespricht die Erfordernisse für die Weiterentwicklung des Relaisbetriebes in Deutschland. *Lh.*

**F. Auerbach** und **W. Hort**, Handbuch der physikalischen und technischen Mechanik. Bd. I. Lief. 3. Gr. 8⁰. XVIII, 192 S. m. 99 Abb. Joh. Ambr. Barth, Leipzig 1929. Geh. R.M 12,50.

Neben Abschnitten von P. Stephan über die Statik größerer Hebezeuge sowie über die Statik und stationäre Bewegung der Fäden, Ketten, Seile, Bänder, Riemen, Drähte von W. Hort und P. Stephan enthält die hier vorliegende Schlußlieferung des ersten Bandes eine eingehende Darstellung über die Reibung fester Körper von den beiden letztgenannten Autoren. *G.*

---

**Neue Preisliste von Gustav Heyde Ges. für Optik und Feinmechanik m. b. H. in Dresden-N. 23.**

Die neuerdings erschienene Preisliste V der Firma gibt über eines ihrer Hauptarbeitsgebiete Auskunft, über Teilmaschinen und Hilfsinstrumente. Besonders eingehend werden die selbsttätigen Kreisteilmaschinen mit Globoidschneckenantrieb beschrieben, die eine Leistung von 14—16 Strichen pro Minute verbürgen. Die Teilmaschinen werden in vier Durchmessergrößen gebaut, nämlich 34, 50, 68 und 100 cm, mit einer garantierten Genauigkeit von $\pm 2$ s für die kleinste Größe und $\pm 1$ s für die anderen Typen. Je nach der Teilflächenneigung werden Horizontal- oder Vertikal-Reißerwerke beigegeben. Auf eine kleine Kreis- und Trommel-Teilmaschine für 300 mm größtem Durchmesser und bis 100 Striche pro min Teilgeschwindigkeit bei $\pm 1$ min Zuverlässigkeit sei noch besonders hingewiesen. Eine weitere Sonderbauart trägt den Bedürfnissen der Maschinenbauer Rechnung. Zur Herstellung von Diaphragmen- und Glas-Teilungen werden eine Mikrometer-Teilmaschine, zur Ergänzung ein Apparat zum Aufziehen der Spinnfäden, sowie eine sehr einfach gebaute Zahlenschreibmaschine beschrieben. Endlich sei noch auf den von der Firma gebauten Teilkreisuntersucher nach Bruns (für 500 mm größten Teilkreisdurchmesser) aufmerksam gemacht. Bemerkenswert ist noch, daß die Firma Heyde auch selbst bereitwilligst die Herstellung von Kreisteilungen übernimmt. *G.*

## Fehlerberichtigung.

In der Abhandlung von A. Karvonen sind auf S. 188 dieses Jahrganges folgende Zahlen richtigzustellen: Zeile 4 v. o.: $\lambda_{3410}$ soll heißen $\lambda_{4340}$,
in Tab. 3 unter $N$ für $He_\alpha$: 1,62079 soll heißen 1,62099.

Nachdruck verboten.

Verantwortlich für die Redaktion: Oberregierungsrat Professor Dr. F. Göpel in Charlottenburg.
Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig

# Zeitschrift für Instrumentenkunde.

*Kuratorium:*

Prof. Dr. **E. Kohlschütter** in Potsdam, Vorsitzender, Prof. Dr. **R. Straubel** in Jena,
Prof. Dr. **F. Weidert** in Berlin-Zehlendorf, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat i. R. Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

50. Jahrgang. **Juli 1930.** Siebentes Heft.

## Über das Verhalten von Fieberthermometern.

Von

**H. Ebert** in Charlottenburg.

(Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.)

Bei den Millionen von Fieberthermometern, die alljährlich amtlich geprüft werden, sind bisweilen gewisse Unregelmäßigkeiten in den Angaben der Instrumente bemerkt worden, deren Erklärung sowohl für die Fabrikanten, wie die Prüfämter von Wichtigkeit ist. Es ist versucht worden, die Frage nach der Ursache dieser Erscheinungen durch das Experiment der Lösung näherzubringen; doch muß gleich zu Beginn dieser Darlegung darauf hingewiesen werden, daß es bisher nicht möglich war, alle beobachteten Erscheinungen restlos zu erklären. Es können daher diese Zeilen im Anschluß an die früheren Erörterungen über diese Fragen nur einen weiteren Beitrag bedeuten, während die restlose Lösung späteren Versuchen vorbehalten bleiben muß.

Unsere Kenntnis von den Quecksilberthermometern gewöhnlicher Art stellt nur ein Hilfsmittel von untergeordneter Bedeutung dar, da sie nicht die Maximumvorrichtung besitzen, die für die Wirkungsweise der Fieberthermometer von grundlegender Bedeutung ist. Es sei erwähnt, daß es drei verschiedene Formen dieser Vorrichtung gibt, die H. F. Wiebe[1] beschrieben hat. Die gebräuchlichsten sind: die Stift-Maximumvorrichtung, meistens an Einschlußthermometern, und die Hicksche, größtenteils an Stabthermometern verwandt.

Diese Maximumvorrichtung bedingt zunächst, daß beim Ansteigen der Temperatur das Quecksilber nur tropfenweise hindurchtreten kann. Dadurch schwankt die Anzeige des Instrumentes. Abb. 1 zeigt Korrektionen bei 40° eines Einschlußthermometers und eines Stabthermometers im Laufe der Jahre 1923 bis 1929. Die Beispiele sind aus Beobachtungen an besonders für die Reichsanstalt hergestellten Fieberthermometern entnommen[2]. Es ergibt sich daraus, daß diese Thermometer ein normales Verhalten zeigen: geringe Schwankungen um den wahren Temperaturwert, zuerst ein schnelleres, dann ein langsameres Steigen der ausgeglichenen Kurve (in der Abb. gestrichelt). In diesem Steigen

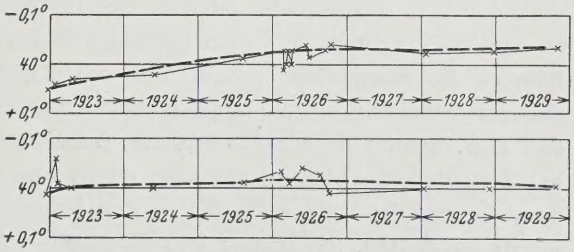



Abb. 1. Korrektion bei 40° eines Einschlußthermometers (obere Kurve) und eines Stabthermometers (untere Kurve).

[1] H. F. Wiebe, *D. Mechanikerztg. 1911. S. 71 u. 189.*

[2] An den Versuchen war der Technische Obersekretär Schöltzel beteiligt.

der Korrektionskurve drückt sich der allgemein bei Thermometern bekannte Anst aus. Die auftretenden Schwankungen sind bei diesen Thermometern so gering, d eine weitere Erklärung hierfür überflüssig ist.

Hüpfer; Anders liegt der Fall in Abb. 2. Hier zeigt sich die Tatsache, daß d Fieberthermometer in bezug auf seine Angaben vom September 1925 bis Ende J nuar 1926 nach den geltenden Prüfungsbestimmungen zulässig, dann bis September 19

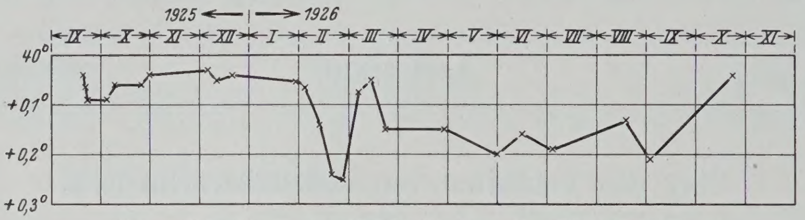



Abb. 2. Korrektionen eines Einschlußthermometers (Hüpfer) bei 40°.

mit zwei Ausnahmen unzulässig war, und zwar sind die Angaben entgegen dem e warteten Anstieg niedriger geworden. Es ist untersucht, ob ein verschieden schnel Ansteigen der Temperatur während der Prüfung von Einfluß war; doch ergab si aus dem Protokoll, daß bei all diesen Beobachtungen der gleiche Gang der Temperat innegehalten wurde. Bisweilen wurden an ein und demselben Tage Korrektion zwischen + 0,20° und + 0,07° gefunden. Durch besondere Untersuchungen festgestellt, daß das Verhalten dieses Instrumentes in einer besonderen Eigensch liegt, die man mit dem Namen „Hüpfen" charakterisiert hat. Dieses Verhalten zei sich darin, daß sich das durch die langsam ansteigende Temperatur des Thermostat vorgeschobene Quecksilber zwar verhältnismäßig leicht auf einen höheren Stand ei stellt, aber dennoch hinter dem wahren Temperaturwert zurückbleibt und erst, we geklopft wird oder die Temperatur langsam um einen beträchtlichen Teil angestieg ist, springt (oder hüpft), so daß die Angaben des Thermometers darnach innerha zulässiger Grenzen liegen. Zur Gegenüberstellung sind sowohl mit dem als „Hüpfe erkannten Instrument, als auch mit dem der Abb. 1, das als normal anzusehen is noch einmal vergleichende Versuche ausgeführt. Es wurde zunächst das hüpfend Thermometer im Wasserbad bei + 40° beobachtet; dabei ergaben sich die Korre tionen: + 0,02°; + 0,03; + 0,06°, sobald geklopft wurde; dagegen + 0,09°; + 0,1 und + 0,12°, sobald beim Ablesen des Instrumentes das Klopfen unterblieb. Gena so sind die Versuche mit dem normalen Fieberthermometer durchgeführt, wobei oh Klopfen die Korrektion + 0,01° und mit Klopfen 0,00° gefunden wurde. Es erschei daher zweckmäßig entweder die Fieberthermometer in einem solchen Zyklus zu prüfe daß z. B. beim 4-Reihen-Ablesen die Temperatur um etwa 1/10 Grad steigt, oder ab bei Zwei-Reihen-Ablesung zwischen durch das Instrument leicht erschüttert wird. I diesem Sinne ist wohl auch die in den rumänischen Bestimmungen vorhandene Vo schrift zu deuten, die lautet: Die Quecksilbersäule der Fieberthermometer darf durc eine Erschütterung nicht mehr als um 0,1° springen.

Bei Stabthermometern ist das Hüpfen eine viel häufigere Erscheinung als be Einschlußthermometern. Sie läßt sich bei jenen Instrumenten aber wesentlich leichte feststellen.

Zurückziehen und Schwerschleudern: Die Aufgabe der Maximumvorrich tung besteht darin, daß die Temperaturangabe des Thermometers nicht geändert wir wenn man das Instrument auf tiefere Temperatur bringt; sie soll also ein freiwillige

Heruntersinken des Quecksilberfadens verhindern. Die Maximumvorrichtung soll dem Quecksilberfaden so viel Widerstand entgegensetzen, daß die Kuppe in ihrer einmal erreichten hohen Lage verbleibt. Andererseits aber muß diese Vorrichtung so gebaut sein, daß bei Anwendung einer nicht übermäßig großen Kraft der Faden wieder ins Gefäß zurückgebracht werden kann, damit das Thermometer für eine neue Messung gebrauchsfertig wird.

Für das Versagen der Maximumvorrichtung gibt es daher zwei Möglichkeiten. Einmal kann sie zu eng sein, so daß zwar das Abweichen nach dem Erkalten innerhalb der erlaubten Grenzen bleibt, beim Zurückschleudern aber der Widerstand so groß wird, daß das Quecksilber gar nicht oder doch verhältnismäßig schwer wieder heruntergetrieben werden kann. Andererseits kann die Maximumvorrichtung zu weit sein, ein Zurückschleudern ist leicht möglich, dagegen geht der Faden des Thermometers, aus der höheren Temperatur herausgenommen, durch seine eigene Schwere oder durch den von einem etwa vorhandenen Luftrest ausgeübten Druck in das Gefäß zurück[1]; das Thermometer zieht zurück.

Als Maß für dieses Zurückziehen gilt die Differenz des Standes des erkalteten Thermometers gegen den bei der vorangegangenen Erwärmung; dieser Unterschied darf nach den z. Z. in Deutschland geltenden Bestimmungen im Höchstfalle $0{,}12^0$ betragen.

Als Maß für das Zurückschleudern wird angenommen, daß sich der Faden ohne besonderen Kraftaufwand mit der Hand bis unter $36^0$ herunterschleudern läßt. Für das Laboratorium ist dieses Maß zahlenmäßig etwas eindeutiger und genauer festgelegt, indem man eine Zentrifuge benutzt und so bei gegebenem Durchmesser eine diesem Schleudern mit der Hand gleichwertige Tourenzahl festlegt[2].

Um das Schleudern mit der Zentrifuge zu kennzeichnen, sind zwei Zahlenangaben notwendig: der Radius und die Umdrehungszahl. Man muß daher wissen, wie die bei einem bestimmten Radius festgelegte Umdrehungszahl umzurechnen ist, wenn ein anderer Radius der Zentrifuge gewünscht wird. Dazu dienen folgende Überlegungen:

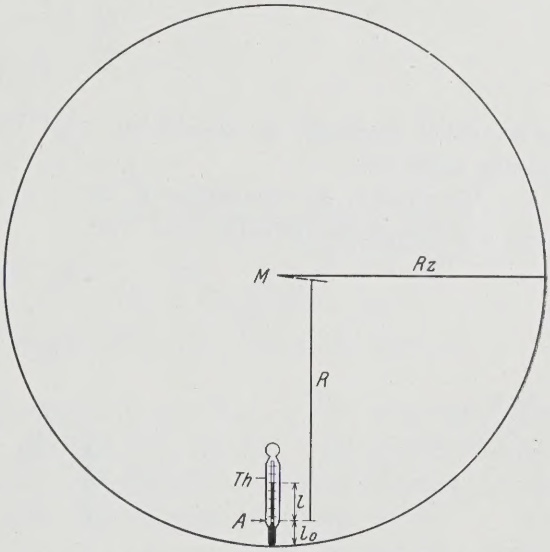


Abb. 3. Zur Berechnung der Beziehung: Umdrehungszahl und Radius der Zentrifuge beim Schleudern der Fieberthermometer.

$M$ ist der Mittelpunkt einer Zentrifuge (s. Abb. 3), $R_z$ ihr Radius, $Th$ ein Fieberthermometer, das mit seinem Gefäß an der Peripherie der Zentrifuge liegt und $A$ die Einschnürung der Kapillare, also die Maximumvorrichtung. Die Zentrifugalkraft ist in $dyn$ allgemein gleich $K_a = 4\,\pi^2\, m \cdot n^2 \cdot R_a$, wo $m$ die punktförmig gedachte Masse in

[1] Br. Noryes jr., *Some defects of clinical thermometers. Journ. Opt. Soc. Amer.* **13.** *S. 223. 1926.*

[2] Es ist bekannt, daß es Instrumente (Einschlußthermometer) gibt, deren Faden in der Zentrifuge nicht heruntergeht, wohl aber beim Schleudern mit der Hand. Man ist genötigt, eine solche Beschaffenheit des Stiftes anzunehmen, daß erst seine Erschütterung durch das Schleudern mit der Hand das Quecksilber hindurchtreten läßt.

Gramm, $n$ die Umdrehungszahl in der Sekunde und $R_a$ den Radius in cm bedeutet. Es muß nun die Kraft $K$ berechnet werden, die auf die verengte Stelle der Kapillare (Maximumvorrichtung) $A$ ausgeübt wird.

Ist $q$ der Querschnitt der Quecksilbersäule, $\sigma$ die Dichte des Quecksilbers, $R$ den Abstand $\overline{AM}$, $l$ zunächst irgendeine beliebige Strecke, gemessen von $A$ aus, so ist die Kraft, welche die Quecksilbersäule von der Länge $l$ beim Zentrifugieren auf die Maximumvorrichtung ausübt; durch Gl. 1) bestimmt. Sobald die Deformation des Quecksilbermeniskus an der Einschnürung überwunden, ist eine merkliche Kraft nicht mehr nötig.

$$K = 4\pi^2 \cdot \sigma \cdot n^2 \cdot q \cdot \int_{R-l}^{A} R_a \cdot dR_a = \frac{1}{2} 4 \cdot \pi^2 \cdot \sigma \cdot n^2 \cdot q\,[R^2 - (R-l)^2] = 4\pi^2 \cdot \sigma \cdot n^2 \cdot q \cdot R \cdot l \cdot \left(1 - \frac{l}{2R}\right)$$

Wählt man $R \gg \frac{l}{2}$ so wird $K = 4\pi^2 \cdot \sigma \cdot n^2 \cdot q \cdot l \cdot R$, d. h. $K$ ist näherungsweise proportional $n^2 \cdot R$. Formel 1) ermöglicht eine Umrechnung der Umdrehungszahl bei verändertem Radius der Zentrifuge. Es ist dann

$$\sigma \cdot n_1^2 \cdot q \cdot l \cdot \left(R_1 - \frac{l}{2}\right) = \sigma \cdot n_2^2 \cdot q \cdot l \cdot \left(R_2 - \frac{l}{2}\right), \qquad 2a)$$

d. h.

$$\frac{n_1^2}{n_2^2} = \frac{R_2 - \frac{l}{2}}{R_1 - \frac{l}{2}} \qquad 2)$$

$q$ ist dabei konstant, da größtenteils eine Umrechnung nur für gleichartige Instrumente nötig ist.

Der Radius der Zentrifuge $R_z$ ist $= R + l_0$, wo $l_0$ den Abstand des Punktes $A$ von der Peripherie bedeutet, also wird

$$\frac{n_1^2}{n_2^2} = \frac{R_{z_2} - l_0 - \frac{l}{2}}{R_{z_1} - l_0 - \frac{l}{2}}$$

oder

$$n_1 = n_2 \cdot \sqrt{\frac{R_{z_2} - \left(l_0 + \frac{l}{2}\right)}{R_{z_1} - \left(l_0 + \frac{l}{2}\right)}}. \qquad 3)$$

Wird nach dem Hochtreiben des Quecksilberfadens auf $40^0$ geschleudert, so ist im Mittel für Einschlußthermometer $l/2 = 2{,}7$ cm, $l_0$ im allgemeinen 2,4 cm zu setzen. Mithin wird $l_0 + l/2 = 5{,}1$ cm. Ferner muß ein Anschlußpunkt gesucht werden, d. h. es muß bei einem vorgegebenen Radius der Zentrifuge die Umdrehungszahl $n$ experimentell bestimmt werden, bei der im wesentlichen die Kuppe des Quecksilberfadens einen Stand unterhalb $36^0$ erreicht. Es ist festgestellt, daß bei dem Herunterschleudern von Einschlußthermometern für $R_z$ 27,5 cm höchstens $n = 330$ Umdrehungen in der Minute erforderlich sein dürfen. Andernfalls gilt ein Fieberthermometer (Einschlußthermometer) als schwer schleuderndes. Bei den Versuchsthermometern war $n = 325$. Mit diesen Werten erhalten wir die Gleichung

$$n = 325 \cdot \sqrt{\frac{22{,}4}{R_{z_1} - 5{,}1}}. \qquad 3a)$$

Die Formel ist experimentell geprüft worden; dazu wurde zunächst eine Anzahl Einschlußthermometer — 12 an der Zahl — untersucht, indem ihr Stand (gemittelt über die 12 Instrumente) in Abhängigkeit von der Umdrehungszahl und vom Ausgangspunkt der Kuppeneinstellung festgestellt wurde. Der Radius der Zentrifuge betrug dabei 27,5 cm. Die Abb. 4 zeigt, daß der Stand des Thermometers bei niedrigeren Umdrehungszahlen sich überhaupt nur unwesentlich ändert; erst später fällt er in einer nach oben geöffneten Kurve ab, und zwar laufen innerhalb der Beobachtungsfehler alle für die einzelnen Kuppeneinstellung geltenden Kurven in eine einzige zusammen.

Diese Versuche ermöglichten zunächst eine Prüfung der Formel 2 a), die hier die Form 2 b) $n_1^2 \cdot l_1 \left(R - \frac{l_1}{2}\right) = n_2^2 \cdot l_2 \cdot \left(R - \frac{l_2}{2}\right)$ annimmt. Die Länge $l$ muß hier besonders bezeichnet werden, und zwar entspricht dem kleinen $l_1$ $(l_2)$ die Strecke (in Zentimetern),

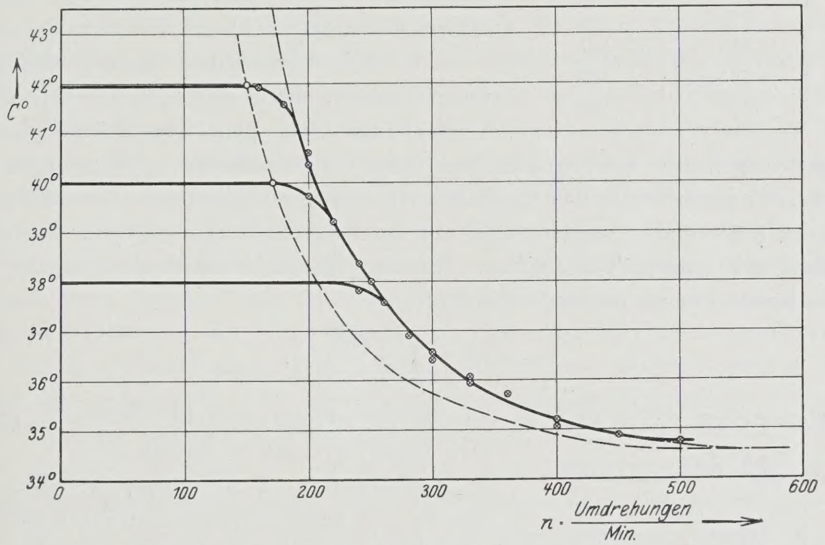



Abb. 4. Stand von 12 Einschlußthermometern in Abhängigkeit von der Umdrehungszahl der Zentrifuge.

um die nach dem Schleudern mit der Umdrehungszahl $n_1$ $(n_2)$ die Quecksilbersäule von der Abreißvorrichtung entfernt ist. Die Gleichung 2 b) hat unter Berücksichtigung der Tatsache, daß ein Fieberthermometer bei höchstens 330 Umdrehungen in der Minute unterhalb $36^0$ heruntergeschleudert werden kann, den Wert $5{,}0 \cdot 10^6$.

Die mit diesem Wert errechnete Kurve ist durch Punkte und Striche in Abb. 4 eingezeichnet. Man erkennt, daß im Mittel diese zwölf untersuchten Fieberthermometer noch zulässig sind. Liegt die Kurve eines Thermometers weiter nach rechts, d. h., gehören dieselben Umdrehungszahlen zu höheren Ständen des Thermometers, so ist ein solches Instrument unzulässig, weil es zu schwer schleudert. Ferner lehren die Kurven, daß die zum Aufstellen der Formel 2 a), also auch der Formel 1) gemachten Annahmen den wirklichen Verhältnissen gerecht werden. Setzt man in die Formel jene Werte für den Stand der Quecksilberkuppe und der Umdrehungszahl ein, bei denen gerade die Quecksilbersäule anfängt sich zu bewegen, so liegen auch diese Punkte auf einer Kurve ähnlicher Gestalt. Daß das Thermometer nicht dieser Kurve folgt, muß durch Kapillaritätskräfte erklärt werden, die durch den Reinheitsgrad des Quecksilbers und der Kapillare sehr beeinflußt werden.

Die Schleuderversuche wurden nun in der Weise fortgesetzt, daß 7 Einschlußthermometer, jedesmal auf 40° erwärmt, in einer Zentrifuge, deren Radius von 50 bis 17,5 cm geändert werden konnte, geschleudert wurden.

Diese Beobachtungen ermöglichen es, die Formel 3a) durch das Experiment zu belegen. Es ist zunächst festgestellt, bei welcher Umdrehungszahl der Stand 36° bei einem Radius der Zentrifuge von 27,5 cm erreicht wird. Das ist, wie oben bereits angegeben, bei 325 Umdrehungen in der Minute der Fall. Die zu dieser Ordinate gehörigen Umdrehungszahlen sind abgelesen und in Tabelle 1 niedergeschrieben; in der letzten Spalte dieser Tabelle stehen die aus der Formel 3 a) berechneten Werte.

Tabelle 1.

| $R_z$ | $n$ | |
|---|---|---|
| | beob. | ber. |
| 50 | 230 | 230 |
| 45 | 250 | 245 |
| 40 | 265 | 260 |
| 35 | 290 | 280 |
| 30 | 310 | 310 |
| 27,5 | 325 | 325 |
| 25 | 350 | 345 |
| 20 | 395 | 400 |
| 17,5 | 430 | 435 |

Tabelle 1 zeigt, daß die beobachteten und berechneten Werte innerhalb der hier zu gewährenden Genauigkeit übereinstimmen.

Ähnliche Verhältnisse ergeben sich bei Stabthermometern, doch sind die zu den einzelnen Umdrehungszahlen gehörigen Stände der Quecksilberkuppen gegen die der Einschlußthermometer verschoben. Es zeigt sich, daß wegen der geringeren Dicke des Quecksilberfadens im allgemeinen eine höhere Umdrehungszahl angewendet werden muß als bei Einschlußthermometern. Formelmäßig aber ergeben sich analoge Verhältnisse. Mit den für die Versuchsthermometer geltenden Daten lautet die zu prüfende Formel:

$$n_1 = 385 \cdot \sqrt{\frac{22,5}{R_2 - 5,0}}.$$

Die experimentellen Werte sind in der gleichen Weise, wie für Tabelle 1, gefunden. Das Ergebnis steht in Tabelle 2.

Tabelle 2.

| $R_z$ | $n$ | |
|---|---|---|
| | beob. | ber. |
| 50 | 275 | 270 |
| 45 | 295 | 290 |
| 40 | 315 | 310 |
| 35 | 340 | 335 |
| 30 | 365 | 365 |
| 27,5 | 385 | 385 |
| 25 | 410 | 410 |
| 20 | 460 | 470 |
| 17,5 | 500 | 515 |

Es ergibt sich auch aus dieser Tabelle, daß für die in der Praxis vorkommenden Fälle die angeführten Formeln angewendet werden können.

Vergleich der Bestimmungen über die Schleuderfähigkeit der einzelnen Länder. Diese Formeln setzen uns in den Stand, die einzelnen gesetzlichen Bestimmungen über die Schleuderfähigkeit der Fieberthermometer in den einzelnen Ländern zu vergleichen.

Es sei noch einmal darauf hingewiesen, daß in Deutschland ein Fieberthermometer betreffs seiner Schleuderfähigkeit als zulässig erkannt wird, wenn sein Quecksilberfaden bei einem Radius von 27,5 cm und bei einer Umdrehungszahl der Zentrifuge von höchstens 320 bis 330 in der Minute (für Einschlußthermometer) und von 420 bis 430 (für Stabthermometer, mit Ausschluß der Veterinärthermometer) unter 36° zu stehen kommt.

Die amerikanische Vorschrift aus dem Jahre 1928[1] verlangt, daß bei einer Umdrehungszahl von 580 in der Minute und einem Radius von 17 cm der Stand bei Stabthermometern unterhalb 35,5° zu stehen kommt. Rechnet man um, so würde

[1] Commercial Standard CS 1—28; Department of Commerce, *Bureau of Standards 1928, Clinical thermometers.*

nan bei einer Zentrifuge von 27,5 cm etwa 420 bis 430 Umdrehungen in der Minute rhalten, Zahlen, die mit den in Deutschland üblichen recht gut übereinstimmen.

Die russischen Vorschriften verlangen, daß nach dem Schleudern in einer Zentrifuge mit dem Radius 16,8 cm und bei 500 Umdrehungen in der Minute die Quecksilberkuppe des Fieberthermometers — es kommen hier nur Einschlußthermometer in Frage — unterhalb 35$^0$ steht. Umgerechnet auf eine Zentrifuge von 27,5 cm-Radius würde die Umdrehungszahl 360 in der Minute betragen. Rechnet man diesen Betrag noch auf den in Deutschland vorgeschriebenen Stand von 36$^0$ um, so ergeben sich für die Umdrehungszahlen 330 bis 320 in der Minute. Auch hier ist im wesentlichen eine Übereinstimmung der Bestimmungen in beiden Ländern festgestellt.

Rechnet man auf Grund dieser Überlegung die Zentrifugalbeschleunigung aus, so erhält man gemäß den russischen Vorschriften, die also ein Schleudern bis unter 35$^0$ verlangen, 320 m/sec$^2$, für Deutschland, beim Schleudern bis zum Stand 36$^0$, 250 m/sec$^2$.

Veränderungen der Schleuderfähigkeit. Es ist nun versucht worden, festzustellen, inwieweit die Funktion der Maximumvorrichtung äußerlich beeinflußt werden kann. Mit Sicherheit ist aus Versuchen mit alten, sich selbst überlassenen Fieberthermometern festgestellt, daß Einschlußthermometer ihre Schleuderfähigkeit im Laufe der Zeit nicht ändern, Stabthermometer dagegen sich später leichter schleudern lassen.

Zur Kenntnis der Größenverhältnisse der Maximumvorrichtung sind einige Versuche und Rechnungen durchgeführt, die im allgemeinen wenigstens einen Anhaltspunkt geben können. Im Durchschnitt enthält ein Einschlußthermometergefäß 1,5 bis 2,0 g Quecksilber; für den Radius der Kapillare kann daraus geschlossen werden, daß er im Mittel 0,0006 cm sein mag. Der für den Bau der Maximumvorrichtung nötige Glasstift hat einen Durchmesser von 0,01 cm; die weitere, untere Kapillare, in die er hineinragt, ist etwas größer. Es ist nun versucht worden, irgendeinen Anhaltspunkt über die Größe der zwischen Stift und diesen unteren, weiteren Kapillaren freibleibende Fläche zu finden. Zu diesem Zweck sind drei Einschlußthermometer untersucht; einmal wurde aus Schleuderversuchen und geometrischen Abmessungen die für die Ausrechnung der Gleichung 1) notwendigen Größen bestimmt[1]. Dann wurden die Thermometer geöffnet und das hochgetriebene Quecksilber durch einen künstlichen Druck heruntergedrückt. Daraus ergab sich die pro Quadratzentimeter wirkende Kraft. Die aus Gleichung 1) erhaltene Kraft, umgerechnet auf Grammgewicht, wirkt, so sei angenommen, auf den unbekannten Querschnitt der Maximumvorrichtung. Da andererseits durch besondere Versuche die Kraft pro Quadratzentimeter bestimmt war, so läßt sich daraus überschlagsmäßig der Querschnitt der Maximumvorrichtung berechnen. Auf diese Weise erhält man einen Wert von etwa $1 \cdot 10^{-5}$ cm$^2$; daraus kann geschlossen werden, daß der Zwischenraum zwischen Stift und Kapillare etwa 0,0003 cm ist. Ganz analog können diese Versuche und Überlegungen bei Stabthermometern mit Hicksscher Maximumvorrichtung angestellt werden. Man erhält dann für den Durchmesser der Einschnürung etwa 0,0004 bis 0,0003 cm. Überschlagsmäßig ist also der Querschnitt dieser Maximumvorrichtung drei bis fünf mal kleiner als der der Kapillare, bei Einschlußthermometern ist das Verhältnis etwa 1:10.

Bei den gefundenen, geringen Abmessungen dieser Abreißvorrichtungen erscheint es verständlich, daß schon sehr geringe Einflüsse von beträchtlicher Wirkung sein

---

[1] $q$ ist bei Einschlußthermometern als Mittel aus den Querschnitten des engeren und weiteren Teiles der Kapillaren angenommen.

können. Andererseits sind diese Einwirkungen außerordentlich schwer experimentell zu erfassen.

Zunächst wurde die allgemein bekannte Tatsache bestätigt, daß bei Einschluß-thermometern mit Stift-Maximumvorrichtung ein Beklopfen des Gefäßendes eine Verlagerung des Stiftes zur Folge haben kann; dadurch sind Instrumente, die ursprünglich als Schwerschleuderer galten, zu normal arbeitenden Instrumenten geworden. Bei dieser Gelegenheit hat sich aber auch gezeigt, daß bisweilen so behandelte Instrumente in den Anfangszustand des Schwerschleuderns wieder zurückfallen können. Es wird bei Einschlußthermometern, sofern nicht unreines Quecksilber vorhanden ist, in den weitaus meisten Fällen die Form der Kapillare und die Lage des Stiftes für das Arbeiten der Maximumvorrichtung verantwortlich zu machen sein[1].

Etwas verwickelter liegen die Verhältnisse bei den Stabthermometern. Man könnte meinen, daß bei ihrer Maximumvorrichtung, die im Stäbchen selbst liegt, Veränderungen im Glase — es ist wohl vor allem an Auslösungen und Ausgleichungen von Spannungen zu denken[2] — ihre Wirksamkeit beeinflussen könnten. Es sind daher Versuche unternommen, bei denen erwartet wurde, daß sie das Auslösen oder Ausgleichen jener Spannungen herbeiführen könnten. So wurden einige Fieberthermometer längere Zeit

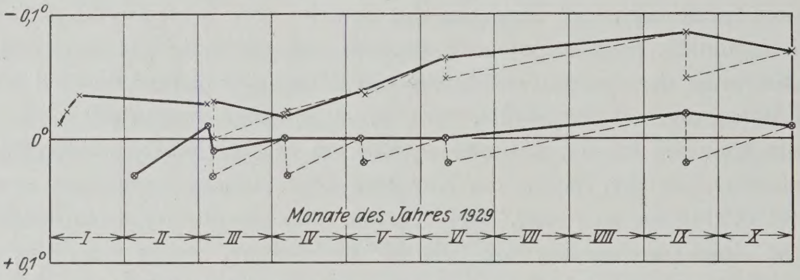



Abb. 5. Einschlußthermometer ganz aus Glas $16^{III}$. Korrektionen bei 40°.
× mit ⊗ ohne } Maximumvorrichtung.

bei einer Temperatur von 40° geschüttelt, etwa so, wie es auf dem Transport geschieht. Allein mit Sicherheit sind dabei wesentliche Einflüsse nicht gefunden. Anders dagegen steht es mit einem Dauererhitzen der Instrumente, das einer Alterung gleichkommt. So wurden während einiger Wochen täglich 7 Stabthermometer auf 40° erwärmt, geschleudert und der erreichte Stand abgelesen. Dabei ergab sich, daß innerhalb von 4 Wochen die Schleuderfähigkeit verbessert wurde. Es ist bei diesen Versuchen aber nicht vorgekommen, daß so behandelte Instrumente Zurückzieher wurden.

Da diese Einflüsse, vermutlich bedingt durch Umlagerungen der Spannungen im Stäbchen an jener Stelle, wo die Maximumvorrichtung liegt, eindeutiger erfaßt werden sollten, sind weitere Versuche mit Fieberthermometern durchgeführt, deren Konstruktion von der üblichen abweicht. Beschafft wurden Instrumente, die einen Temperaturbereich von 35 bis 42° umfaßten, aber am oberen Ende Erweiterungen besaßen, so daß sie auf 100° erhitzt werden konnten. Ferner wurden Thermometer gleicher äußerlicher Form und aus gleichem Glas hergestellt, die aber keine Maximumvorrichtung hatten[3]. Diese Instrumente sind — nach zweimonatlicher Ruhe — geprüft und eine

---

[1] Löber, *Glas und Apparat*, **6.** *S. 177* u. *185. 1925.*

[2] Für das Beschaffen dieser Instrumente ist die Reichsanstalt dem Thür. Landesamt f. Maß u. Gewicht zu Dank verpflichtet; wie denn überhaupt das Thür. Landesamt an diesen Arbeiten regen Anteil nahm und manche Anregung brachte.

[3] Siehe Löber, l. c., der auch Zersetzungen im Glas als Grund für diese Erscheinungen angibt.

halbe Stunde auf 100° erwärmt. Darauf wurde nach einer längeren Ruhepause der Versuch in gleicher Weise wiederholt. Trägt man in Abhängigkeit von der Zeit die gefundenen Korrektionen (ausgezogene Linie) graphisch auf (s. Abb. 5), so erkennt man, daß die Kurve für die Thermometer mit Maximumvorrichtung ein wenig unruhiger verläuft. Hier tritt der schon erwähnte Einfluß der Maximumvorrichtung in Erscheinung. Allerdings war er bei diesen Einschlußthermometern nicht sehr stark ausgeprägt. Es sind in der Abbildung zunächst jene Punkte aufgetragen, die als Korrektionen schlechthin zu bezeichnen sind. Mit diesen wurden durch gestrichelte Linien jene Korrektionen verbunden, die unmittelbar nach dem Erwärmen auf 100° gefunden wurden. Durch die Tatsache der Depression, die hier in dem Intervall von 40 bis 100° beobachtet wurde, liegen jene Punkte immer etwas tiefer; und zwar bei diesen Einschlußthermometern, die ganz aus Glas $16^{III}$ hergestellt sind, in der an diesem Glas beobachteten Größe von 0,02 bis 0,03° [1].

Bei Stabthermometern mit Maximumvorrichtung verlaufen die Kurven ähnlich, jedoch ein wenig unruhiger; es zeigt sich auch hier, daß die engere Maximumvorrichtung die Hüpfereigenschaft stärker hervortreten läßt. Dabei ist in den bisher durchgeführten Versuchen, die sich über $^3/_4$ Jahre erstrecken, kein nennenswerter Unterschied hervorgetreten, ob der Stengel der Stabthermometer aus demselben Glas, wie das Gefäß — also aus einem von der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt anerkanntem Glase — oder aus dem üblich verwendeten Bleiglase besteht. Indes muß gerade dieser Punkt noch weiter verfolgt werden. Was die Größe der Depression betrifft, so beobachtet man im Mittel Werte, die bei größeren Schwankungen den für die betreffenden Glassorten festgelegten Werten nahekommen.

Zur Klärung der Frage, ob irgendwelche Einflüsse, ausgelöst durch Spannungen im Glase, an der Maximumvorrichtung festgestellt werden können, sind einige Thermometer im polarisierten Licht beobachtet und photographiert. Die Anordnung ist in Abb. 6 wiedergegeben. $L$ bedeutet die Lichtquelle, $L_1$ und $L_2$ 2 Linsen, $N_1$ und $N_2$ je einen Nikol, als Polarisator und Analysator; $K$ ist eine Küvette, in die hinein zum Ausgleich des Brechungsexponenten des Glases, aus dem die Thermometer $Th$ bestehen, eine Lösung von Anilin und Alkohol gebracht wird. $P$ ist eine photographische Platte, bzw. eine Mattscheibe. Bei gekreuzten Nikol werden im Gesichtsfeld diejenigen Stellen aufgehellt, an denen Spannungen im Glase herrschen. Taucht man in $K$ ein Einschlußthermometer ein, so zeigen sich in der Nähe der Verengung der Kapillare durch den Stift kaum Polarisationswirkungen. Es ist also sicher, daß im allgemeinen in der Nähe der Maximumvorrichtung der Einschlußthermometer keine Spannungen vorhanden sind. Es ist infolgedessen auch nicht zu erwarten, daß hier Änderungen eintreten, da diese Instrumente als Fieberthermometer keiner übermäßig großen Belastung in bezug auf Temperaturwechsel unterliegen. Jedenfalls sind weder bei frischen noch bei älteren

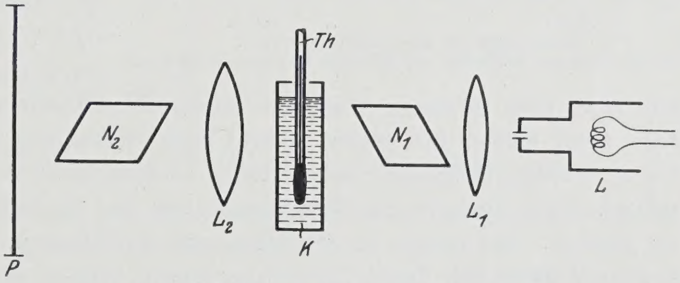



Abb 6. Fieberthermometer im polarisierten Licht.

[1] Dabei ist die Depression zwischen 0 und 100°, die etwa 0,05° beträgt, in diesem Bereich als linear abhängig von der Temperatur angesetzt.

Einschlußthermometern Spannungen an dieser Stelle beobachtet. Dieser Befund ist durch den Bau der Maximumvorrichtung erklärt und deckt sich durchaus mit der Tatsache, daß in höherem Maße Verlagerungen des Stiftes — gewollte oder ungewollte — als Alterungserscheinungen auf die Stift-Maximumvorrichtung von Einfluß sind.

Ein ganz anderes Bild ergibt sich bei den Stabthermometern. Hier zeigen sich (Abb. 7) in der Nähe der Maximumvorrichtung starke Spannungen, die auch aus der Art der Herstellung verständlich sind. Wenn aber die Maximumvorrichtung selbst innerhalb solcher Spannungen im Glase liegt, so ist ihre Funktion viel leichter von Umlagerungen dieser Spannungen abhängig. In Abb. 8 ist ein weiteres Polarisationsbild derselben Maximumvorrichtung, das nach längerem Gebrauch des Thermometers aufgenommen wurde, wiedergegeben. Man erkennt, daß eine geringe Verlagerung der Interferenzstreifen eingetreten ist. Doch ist diese Verschiebung verhältnismäßig klein, so daß erst weitere Untersuchungen ein abschließendes Urteil bringen können.

Abb. 7.

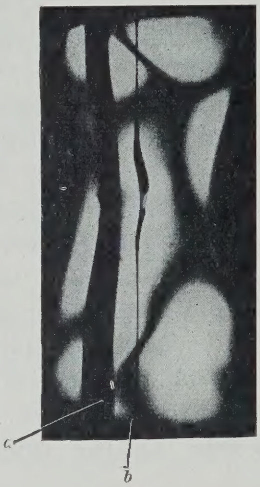


Abb. 8.

Spannungsbilder eines Stabthermometers.
*a* weiße Belegung, *b* Kapillare mit Hickscher Maximum-Vorrichtung.

Zum Schluß mag nochmals das Hauptsächlichste der bisherigen Untersuchungen hervorgehoben werden. Der bei Fieberthermometern aus zugelassenem Glas gefundene gesamte Anstieg der Angaben beträgt im Mittel etwa 0,05 $^0$, ein Wert, der durchaus zu erwarten ist, weit unter den Werten der aus Thür. Glas zu diesen Versuchen hergestellten Thermometer bleibt und etwa innerhalb eines halben bis ganzen Jahres nach Herstellung des Instrumentes erreicht ist. Ferner wurden Schleuderversuche unter verschiedenen Bedingungen durchgeführt und erklärt. Eine überschlagsmäßige Berechnung des Querschnittes der Abreißvorrichtung ist gegeben. Änderungen in den Maximumvorrichtungen, wie sie sich durch eine veränderte Wirksamkeit dieser Vorrichtung zegien, können bei den Einschlußthermometern durch Verlagerung des Stiftes in der Mehrzahl erlkärt werden; bei Stabthermometern dagegen werden durch Beobachtungen im polarisierten Licht Einflüsse der Spannungsumlagerungen im Glase wahrscheinlich gemacht. Die Hüpfereigenschaft bei Maximumthermometern muß sehr berücksichtigt werden.

Aus allem geht hervor, daß ein Maximumthermometer ein besonders schwer zu behandelndes Instrument ist. Immerhin aber kann man sagen, daß ein sorgfältig hergestelltes Fieberthermometer, ob Stab- oder Einschlußthermometer, für die Zeit seiner Lebensdauer stets einwandfrei arbeiten wird. Das beweisen 20 Stück der Reichsanstalt gehörige Fieberthermometer, die mit einer einzigen Ausnahme, bei der ein Stabthermometer Rückzieher wurde, seit 8 Jahren noch immer in gleich guter Weise den an sie gestellten Bedingungen genügen.

# Ein neues Verfahren zur Messung von Innengewinden.

Von
**G. Berndt** und **E. Bock** in Dresden.

(Schluß von S. 384.)

h) Tabellen für die Berechnung von $F$. Während sich der eigentliche Meß-
vorgang nun lediglich auf die (mehrfache) Bestimmung des Wertes $(M - M_0)$ beschränkt,
st die sich anschließende Rechnung zur Ermittelung des Flankendurchmessers

$$F = E + f_i + (M - M_0) + d \cdot \left(\frac{1}{\sin\alpha/2} - \frac{1}{\sin\alpha_0/2}\right) - \frac{1}{2} \cdot h \cdot \operatorname{ctg}\frac{\alpha}{2}$$

etwas umständlich. Sie läßt sich aber unter Zuhilfenahme von Tabellen bedeutend
vereinfachen.

Der Winkel $\alpha_0 \left(\frac{\alpha_0}{2}\right)$ der Kimmen kommt dem Sollwert des betreffenden Gewindes
(27° 30′ bzw. 30° 00′) stets sehr nahe und weicht maximal etwa 2′ davon ab. Auch
der Winkel der Lehrringe, der als bekannt vorausgesetzt wird, liegt nach DIN 2244
n verhältnismäßig engen Grenzen. Es ist also ohne weiteres möglich, eine nicht allzu
ımfangreiche Tabelle aufzustellen, die die Abhängigkeit des Ausdruckes $\left(\frac{1}{\sin\alpha/2} - \frac{1}{\sin\alpha_0/2}\right)$
einerseits von $\frac{\alpha}{2}$, andererseits von $\frac{\alpha_0}{2}$ zeigt und für alle Gewinde mit gleichem Flanken-
winkel Gültigkeit hat. Das ist in Tabelle 1 und 2 geschehen. Ihre Zahlenwerte sind
noch mit dem jeweils benutzten Kugeldurchmesser $d$ zu multiplizieren.

Bezeichnet man ferner die Sollmaße von Steigung und halbem Winkel mit $H$ und $\frac{A}{2}$,
so kann man

$$\frac{1}{2} \cdot h \cdot \operatorname{ctg}\frac{\alpha}{2} = \frac{1}{2} \cdot (H + \delta h) \cdot \operatorname{ctg}\left(\frac{A}{2} + \delta\frac{\alpha}{2}\right)$$

$$= \frac{1}{2} \cdot H \cdot \operatorname{ctg}\frac{A}{2} + \frac{1}{2} \cdot \delta h \cdot \operatorname{ctg}\frac{A}{2} - \frac{1}{2} \cdot \delta\frac{\alpha}{2} \cdot \frac{H}{\sin^2 A/2}$$

schreiben. Man sieht, daß für eine gegebene Steigungs- und Winkelabweichung des
Prüflings vom Sollwert die Gleichung auf die einfache Form

$$\frac{1}{2} \cdot h \cdot \operatorname{ctg}\frac{\alpha}{2} = C_1 + \delta h \cdot C_2 + \delta\frac{\alpha}{2} \cdot C_3$$

kommt. Man kann nun entweder nur diese Konstanten für die meist vorkommenden
Werte von $H$ und $\frac{A}{2}$ in Tabellenform angeben; man kann aber auch, wie es in den
Tabellen 3 bis 8 geschehen ist, diese Konstanten gleich mit den verschiedenen Werten
von $\delta h$ bzw. $\delta\frac{\alpha}{2}$, die ja innerhalb verhältnismäßig enger Grenzen liegen, vereinen,
so daß bei einem Lehrring, der vom Sollwert der Steigung $H$ um $\delta h$, von dem des
halben Flankenwinkels $\frac{A}{2}$ um $\delta\frac{\alpha}{2}$ abweicht,

$$\frac{1}{2} \cdot h \cdot \operatorname{ctg}\frac{\alpha}{2} = K_1 + K_2 + K_3$$

wird.

Die Tabellen sind auf $^1/_{100}\,\mu$ berechnet, um nicht bei der Addition der ver-
schiedenen Korrektionen durch die Abrundung Fehler hineinzubringen.

Tabelle 1.[1] $\left(\frac{1}{\sin \alpha/2} - \frac{1}{\sin \alpha_0/2}\right)$ in $10^{-3}$ der Einheit (für Whitworth-Gew.).

| $\alpha/2 =$ | $\alpha_0/2 =$ 27° 28,0′ | 28,5′ | 29,0′ | 29,5′ | 30,0′ | 30,5′ | 31,0′ | 31,5′ | 32,0′ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 27° 0′ | + 34,59 | + 35,19 | + 35,80 | + 36,40 | + 37,01 | + 37,61 | + 38,22 | + 38,82 | + 39,43 |
| 1′ | + 33,33 | + 33,93 | + 34,54 | + 35,14 | + 35,75 | + 36,35 | + 36,96 | + 37,56 | + 38,17 |
| 2′ | + 32,08 | + 32,68 | + 33,29 | + 33,89 | + 34,50 | + 35,10 | + 35,71 | + 36,31 | + 36,92 |
| 3′ | + 30,82 | + 31,42 | + 32,03 | + 32,63 | + 33,24 | + 33,84 | + 34,45 | + 35,05 | + 35,66 |
| 4′ | + 29,57 | + 30,17 | + 30,78 | + 31,38 | + 31,99 | + 32,59 | + 33,20 | + 33,80 | + 34,41 |
| 5′ | + 28,32 | + 28,92 | + 29,53 | + 30,13 | + 30,74 | + 31,34 | + 31,95 | + 32,55 | + 33,26 |
| 6′ | + 27,07 | + 27,67 | + 28,28 | + 28,88 | + 29,49 | + 30,09 | + 30,70 | + 31,30 | + 31,91 |
| 7′ | + 25,83 | + 26,43 | + 27,04 | + 27,64 | + 28,25 | + 28,85 | + 29,46 | + 30,06 | + 30,67 |
| 8′ | + 24,58 | + 25,18 | + 25,79 | + 26,39 | + 27,00 | + 27,60 | + 28,21 | + 28,81 | + 29,42 |
| 9′ | + 23,34 | + 23,94 | + 24,55 | + 25,15 | + 25,76 | + 26,36 | + 26,97 | + 27,57 | + 28,18 |
| 10′ | + 22,09 | + 22,69 | + 23,30 | + 23,90 | + 24,51 | + 25,11 | + 25,72 | + 26,32 | + 26,93 |
| 11′ | + 20,85 | + 21,45 | + 22,06 | + 22,66 | + 23,27 | + 23,87 | + 24,48 | + 25,08 | + 25,69 |
| 12′ | + 19,62 | + 20,22 | + 20,83 | + 21,43 | + 22,04 | + 22,64 | + 23,25 | + 23,85 | + 24,46 |
| 13′ | + 18,38 | + 18,98 | + 19,59 | + 20,19 | + 20,80 | + 21,40 | + 22,01 | + 22,61 | + 23,22 |
| 14′ | + 17,14 | + 17,74 | + 18,35 | + 18,95 | + 19,56 | + 20,16 | + 20,77 | + 21,37 | + 21,98 |
| 15′ | + 15,91 | + 16,51 | + 17,12 | + 17,72 | + 18,33 | + 18,93 | + 19,54 | + 20,14 | + 20,75 |
| 16′ | + 14,68 | + 15,28 | + 15,89 | + 16,49 | + 17,10 | + 17,70 | + 18,31 | + 18,91 | + 19,52 |
| 17′ | + 13,44 | + 14,04 | + 14,65 | + 15,25 | + 15,86 | + 16,46 | + 17,07 | + 17,67 | + 18,28 |
| 18′ | + 12,21 | + 12,81 | + 13,42 | + 14,02 | + 14,63 | + 15,23 | + 15,84 | + 16,44 | + 17,05 |
| 19′ | + 11,09 | + 11,59 | + 12,20 | + 12,80 | + 13,41 | + 14,01 | + 14,62 | + 15,22 | + 15,83 |
| 20′ | + 9,76 | + 10,36 | + 10,97 | + 11,57 | + 12,18 | + 12,78 | + 13,39 | + 13,99 | + 14,60 |
| 21′ | + 8,54 | + 9,14 | + 9,75 | + 10,35 | + 10,96 | + 11,56 | + 12,17 | + 12,77 | + 13,38 |
| 22′ | + 7,31 | + 7,91 | + 8,52 | + 9,12 | + 9,73 | + 10,33 | + 10,94 | + 11,54 | + 12,15 |
| 23′ | + 6,09 | + 6,69 | + 7,30 | + 7,90 | + 8,51 | + 9,11 | + 9,72 | + 10,32 | + 10,93 |
| 24′ | + 4,87 | + 5,47 | + 6,08 | + 6,68 | + 7,29 | + 7,89 | + 8,50 | + 9,10 | + 9,71 |
| 25′ | + 3,65 | + 4,25 | + 4,86 | + 5,46 | + 6,07 | + 6,67 | + 7,28 | + 7,88 | + 8,49 |
| 26′ | + 2,43 | + 3,03 | + 3,64 | + 4,24 | + 4,85 | + 5,45 | + 6,06 | + 6,66 | + 7,27 |
| 27′ | + 1,22 | + 1,82 | + 2,43 | + 3,03 | + 3,64 | + 4,24 | + 4,85 | + 5,45 | + 6,06 |
| 28′ | ± 0,00 | + 0,60 | + 1,21 | + 1,81 | + 2,42 | + 3,02 | + 3,63 | + 4,23 | + 4,84 |
| 29′ | − 1,21 | − 0,61 | ± 0,00 | + 0,60 | + 1,21 | + 1,81 | + 2,42 | + 3,02 | + 3,63 |
| 30′ | − 2,42 | − 1,82 | − 1,21 | − 0,61 | ± 0,00 | + 0,60 | + 1,21 | + 1,81 | + 2,42 |
| 31′ | − 3,63 | − 3,03 | − 2,42 | − 1,82 | − 1,21 | − 0,61 | ± 0,00 | + 0,60 | + 1,21 |
| 32′ | − 4,84 | − 4,24 | − 3,63 | − 3,03 | − 2,42 | − 1,82 | − 1,21 | − 0,61 | ± 0,00 |
| 33′ | − 6,04 | − 5,44 | − 4,83 | − 4,23 | − 3,62 | − 3,02 | − 2,41 | − 1,81 | − 1,20 |
| 34′ | − 7,25 | − 6,65 | − 6,04 | − 5,44 | − 4,83 | − 4,23 | − 3,62 | − 3,02 | − 2,41 |
| 35′ | − 8,45 | − 7,85 | − 7,24 | − 6,64 | − 6,03 | − 5,43 | − 4,82 | − 4,22 | − 3,61 |
| 36′ | − 9,65 | − 9,05 | − 8,44 | − 7,84 | − 7,23 | − 6,63 | − 6,02 | − 5,42 | − 4,81 |
| 37′ | − 10,85 | − 10,25 | − 9,64 | − 9,04 | − 8,43 | − 7,83 | − 7,22 | − 6,62 | − 6,01 |
| 38′ | − 12,05 | − 11,45 | − 10,84 | − 10,24 | − 9,63 | − 9,03 | − 8,42 | − 7,82 | − 7,21 |
| 39′ | − 13,25 | − 12,65 | − 12,04 | − 11,44 | − 10,83 | − 10,23 | − 9,62 | − 9,02 | − 8,41 |
| 40′ | − 14,44 | − 13,84 | − 13,23 | − 12,63 | − 12,03 | − 11,43 | − 10,81 | − 10,21 | − 9,60 |
| 41′ | − 15,64 | − 15,04 | − 14,43 | − 13,83 | − 13,22 | − 12,62 | − 12,01 | − 11,41 | − 10,80 |
| 42′ | − 16,83 | − 16,23 | − 15,62 | − 15,02 | − 14,41 | − 13,81 | − 13,20 | − 12,60 | − 11,99 |
| 43′ | − 18,02 | − 17,42 | − 16,81 | − 16,21 | − 15,60 | − 15,00 | − 14,39 | − 13,79 | − 13,18 |
| 44′ | − 19,21 | − 18,61 | − 18,00 | − 17,40 | − 16,79 | − 16,19 | − 15,58 | − 14,98 | − 14,37 |
| 45′ | − 20,40 | − 19,80 | − 19,19 | − 18,59 | − 17,98 | − 17,38 | − 16,77 | − 16,17 | − 15,56 |
| 46′ | − 21,59 | − 20,99 | − 20,38 | − 19,78 | − 19,17 | − 18,57 | − 17,96 | − 17,36 | − 16,75 |
| 47′ | − 22,77 | − 22,17 | − 21,56 | − 20,96 | − 20,35 | − 19,75 | − 19,14 | − 18,54 | − 17,93 |
| 48′ | − 23,96 | − 23,36 | − 22,75 | − 22,15 | − 21,54 | − 20,94 | − 20,33 | − 19,73 | − 19,12 |
| 27° 49′ | − 25,14 | − 24,54 | − 23,93 | − 23,33 | − 22,72 | − 22,12 | − 21,51 | − 20,91 | − 20,30 |

[1] Die Tabellenwerte sind mit dem jeweiligen Kugeldurchmesser $d$ in mm zu multiplizieren, um die Korrektionen in $\mu$ zu erhalten.

Tabelle 1 (Fortsetzung).

| $\alpha/2 =$ | $\alpha_0/2 =$ 27° 28,0′ | 28,5′ | 29,0′ | 29,5′ | 30,0′ | 30,5′ | 31,0′ | 31,5′ | 32,0′ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 7° 50′ | − 26,32 | − 25,72 | − 25,11 | − 24,51 | − 23,90 | − 23,30 | − 22,69 | − 22,09 | − 21,48 |
| 51′ | − 27,50 | − 26,90 | − 26,29 | − 25,69 | − 25,08 | − 24,48 | − 23,87 | − 23,27 | − 22,66 |
| 52′ | − 28,68 | − 28,08 | − 27,47 | − 26,87 | − 26,26 | − 25,66 | − 25,05 | − 24,45 | − 23,84 |
| 53′ | − 29,85 | − 29,25 | − 28,64 | − 28,04 | − 27,43 | − 26,83 | − 26,22 | − 25,62 | − 25,01 |
| 54′ | − 31,03 | − 30,43 | − 29,82 | − 29,22 | − 28,61 | − 28,01 | − 27,40 | − 26,80 | − 26,19 |
| 55′ | − 32,20 | − 31,60 | − 30,99 | − 30,39 | − 29,78 | − 29,18 | − 28,57 | − 27,97 | − 27,36 |
| 56′ | − 33,37 | − 32,77 | − 32,16 | − 31,56 | − 30,95 | − 30,35 | − 29,74 | − 29,14 | − 28,53 |
| 57′ | − 34,54 | − 33,94 | − 33,33 | − 32,73 | − 32,12 | − 31,52 | − 30,91 | − 30,31 | − 29,70 |
| 58′ | − 35,71 | − 35,11 | − 34,50 | − 33,90 | − 33,29 | − 32,69 | − 32,08 | − 31,48 | − 30,87 |
| 59′ | − 36,88 | − 36,28 | − 35,67 | − 35,07 | − 34,46 | − 33,86 | − 33,25 | − 32,65 | − 32,04 |
| 8° 00′ | − 38,05 | − 37,45 | − 36,84 | − 36,24 | − 35,63 | − 35,03 | − 34,42 | − 33,82 | − 33,21 |

Tabelle 2[1]. $\left(\frac{1}{\sin \alpha/2} - \frac{1}{\sin \alpha_0/2}\right)$ für metrisches Gew. in $10^{-3}$ der Einheit.

| $\alpha/2 =$ | $\alpha_0/2 =$ 29° 58,0′ | 58,5′ | 59,0′ | 59,5′ | 30° 0,0′ | 0,5′ | 1,0′ | 1,5′ | 2,0′ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 9° 30′ | + 28,75 | + 29,26 | + 29,76 | + 30,27 | + 30,77 | + 31,27 | + 31,78 | + 32,28 | + 32,78 |
| 31′ | + 27,71 | + 28,22 | + 28,72 | + 29,23 | + 29,73 | + 30,23 | + 30,74 | + 31,24 | + 31,74 |
| 32′ | + 26,67 | + 27,18 | + 27,68 | + 28,19 | + 28,69 | + 29,19 | + 29,70 | + 30,22 | + 30,71 |
| 33′ | + 25,63 | + 26,14 | + 26,64 | + 27,15 | + 27,65 | + 28,15 | + 28,66 | + 29,16 | + 29,66 |
| 34′ | + 24,59 | + 25,10 | + 25,60 | + 26,11 | + 26,61 | + 27,11 | + 27,62 | + 28,12 | + 28,62 |
| 35′ | + 23,55 | + 24,06 | + 24,56 | + 25,07 | + 25,57 | + 26,07 | + 26,58 | + 27,08 | + 27,58 |
| 36′ | + 22,51 | + 23,02 | + 23,52 | + 24,03 | + 24,53 | + 25,03 | + 25,54 | + 26,04 | + 26,54 |
| 37′ | + 21,47 | + 21,98 | + 22,48 | + 22,99 | + 23,49 | + 23,99 | + 24,50 | + 25,00 | + 25,50 |
| 38′ | + 20,44 | + 20,95 | + 21,45 | + 21,96 | + 22,46 | + 22,96 | + 23,47 | + 23,97 | + 24,47 |
| 39′ | + 19,41 | + 19,92 | + 20,42 | + 20,93 | + 21,43 | + 21,93 | + 22,44 | + 22,94 | + 23,44 |
| 40′ | + 18,37 | + 18,88 | + 19,38 | + 19,89 | + 20,39 | + 20,89 | + 21,40 | + 21,90 | + 22,40 |
| 41′ | + 17,34 | + 17,85 | + 18,35 | + 18,86 | + 19,36 | + 19,86 | + 20,37 | + 20,87 | + 21,37 |
| 42′ | + 16,31 | + 16,82 | + 17,32 | + 17,83 | + 18,33 | + 18,83 | + 19,34 | + 19,84 | + 20,34 |
| 43′ | + 15,28 | + 15,79 | + 16,29 | + 16,80 | + 17,30 | + 17,80 | + 18,31 | + 18,81 | + 19,31 |
| 44′ | + 14,26 | + 14,77 | + 15,27 | + 15,78 | + 16,28 | + 16,78 | + 17,29 | + 17,79 | + 18,29 |
| 45′ | + 13,23 | + 13,74 | + 14,24 | + 14,75 | + 15,25 | + 15,75 | + 16,26 | + 16,76 | + 17,26 |
| 46′ | + 12,20 | + 12,71 | + 13,21 | + 13,72 | + 14,22 | + 14,72 | + 15,23 | + 15,73 | + 16,23 |
| 47′ | + 11,18 | + 11,69 | + 12,19 | + 12,70 | + 13,20 | + 13,70 | + 14,21 | + 14,71 | + 15,21 |
| 48′ | + 10,16 | + 10,67 | + 11,17 | + 11,68 | + 12,18 | + 12,68 | + 13,19 | + 13,69 | + 14,19 |
| 49′ | + 9,14 | + 9,65 | + 10,15 | + 10,66 | + 11,16 | + 11,66 | + 12,17 | + 12,67 | + 13,17 |
| 50′ | + 8,12 | + 8,63 | + 9,13 | + 9,64 | + 10,14 | + 10,64 | + 11,15 | + 11,65 | + 12,15 |
| 51′ | + 7,10 | + 7,61 | + 8,11 | + 8,62 | + 9,12 | + 9,62 | + 10,13 | + 10,63 | + 11,13 |
| 52′ | + 6,08 | + 6,59 | + 7,09 | + 7,60 | + 8,10 | + 8,60 | + 9,11 | + 9,61 | + 10,11 |
| 53′ | + 5,06 | + 5,57 | + 6,07 | + 6,58 | + 7,08 | + 7,58 | + 8,09 | + 8,59 | + 9,09 |
| 54′ | + 4,05 | + 4,56 | + 5,06 | + 5,57 | + 6,07 | + 6,57 | + 7,08 | + 7,58 | + 8,08 |
| 55′ | + 3,03 | + 3,54 | + 4,04 | + 4,55 | + 5,05 | + 5,55 | + 6,06 | + 6,56 | + 7,06 |
| 56′ | + 2,02 | + 2,53 | + 3,03 | + 3,54 | + 4,04 | + 4,54 | + 5,05 | + 5,55 | + 6,05 |
| 57′ | + 1,01 | + 1,52 | + 2,02 | + 2,53 | + 3,03 | + 3,53 | + 4,04 | + 4,54 | + 5,04 |
| 58′ | ± 0,00 | + 0,51 | + 1,01 | + 1,52 | + 2,02 | + 2,52 | + 3,03 | + 3,53 | + 4,03 |
| 59′ | − 1,01 | − 0,50 | ± 0,00 | + 0,51 | + 1,01 | + 1,51 | + 2,02 | + 2,52 | + 3,02 |
| 0° 0′ | − 2,02 | − 1,51 | − 1,01 | − 0,50 | ± 0,00 | + 0,50 | + 1,01 | + 1,51 | + 2,01 |
| 1′ | − 3,03 | − 2,52 | − 2,02 | − 1,51 | − 1,01 | − 0,51 | ± 0,00 | + 0,50 | + 1,00 |
| 2′ | − 4,03 | − 3,53 | − 3,03 | − 2,51 | − 2,01 | − 1,51 | − 1,00 | − 0,50 | ± 0,00 |
| 3′ | − 5,04 | − 4,53 | − 4,03 | − 3,52 | − 3,02 | − 2,51 | − 2,01 | − 1,51 | − 1,01 |

[1] Die Tabellenwerte sind mit dem jeweiligen Kugeldurchmesser $d$ (in mm) zu multiplizieren, m die Korrektionen in $\mu$ zu erhalten.

Tabelle 2 (Fortsetzung).

| $\alpha/2 =$ | $\alpha_0/2 =$ | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 29° 58,0′ | 58,5′ | 59,0′ | 59,5′ | 30° 0,0′ | 0,5′ | 1,0′ | 1,5′ | 2,0′ |
| 30° 4′ | − 6,04 | − 5,53 | − 5,03 | − 4,52 | − 4,02 | − 3,52 | − 3,01 | − 2,51 | − 2,01 |
| 5′ | − 7,04 | − 6,53 | − 6,03 | − 5,52 | − 5,02 | − 4,52 | − 4,01 | − 3,51 | − 3,01 |
| 6′ | − 8,04 | − 7,53 | − 7,03 | − 6,52 | − 6,02 | − 5,52 | − 5,01 | − 4,51 | − 4,01 |
| 7′ | − 9,04 | − 8,53 | − 8,03 | − 7,52 | − 7,02 | − 6,52 | − 6,01 | − 5,51 | − 5,01 |
| 8′ | − 10,04 | − 9,53 | − 9,03 | − 8,52 | − 8,02 | − 7,52 | − 7,01 | − 6,51 | − 6,01 |
| 9′ | − 11,04 | − 10,53 | − 10,03 | − 9,52 | − 9,02 | − 8,52 | − 8,01 | − 7,51 | − 7,01 |
| 10′ | − 12,04 | − 11,53 | − 11,03 | − 10,52 | − 10,02 | − 9,52 | − 9,01 | − 8,51 | − 8,01 |
| 11′ | − 13,03 | − 12,52 | − 12,02 | − 11,51 | − 11,01 | − 10,51 | − 10,00 | − 9,50 | − 9,00 |
| 12′ | − 14,03 | − 13,52 | − 13,02 | − 12,51 | − 12,01 | − 11,51 | − 11,00 | − 10,50 | − 10,00 |
| 13′ | − 15,02 | − 14,01 | − 14,51 | − 13,50 | − 13,00 | − 12,50 | − 11,99 | − 11,49 | − 10,99 |
| 14′ | − 16,01 | − 15,50 | − 15,00 | − 14,49 | − 13,99 | − 13,49 | − 12,98 | − 12,48 | − 11,98 |
| 15′ | − 17,00 | − 16,49 | − 15,99 | − 15,48 | − 14,98 | − 14,48 | − 13,97 | − 13,47 | − 12,97 |
| 16′ | − 17,99 | − 17,48 | − 16,98 | − 16,47 | − 15,97 | − 15,47 | − 14,96 | − 14,46 | − 13,96 |
| 17′ | − 18,98 | − 18,47 | − 17,97 | − 17,46 | − 16,96 | − 16,46 | − 15,95 | − 15,45 | − 14,95 |
| 18′ | − 19,97 | − 19,46 | − 18,96 | − 18,45 | − 17,95 | − 17,45 | − 16,94 | − 16,44 | − 15,94 |
| 30° 19′ | − 20,95 | − 20,44 | − 19,94 | − 19,43 | − 18,93 | − 18,43 | − 17,92 | − 17,42 | − 16,92 |
| 30° 20′ | − 21,94 | − 21,43 | − 20,93 | − 20,42 | − 19,92 | − 19,42 | − 18,91 | − 18,41 | − 17,91 |
| 21′ | − 22,92 | − 22,41 | − 21,91 | − 21,40 | − 20,90 | − 20,40 | − 19,89 | − 19,39 | − 18,89 |
| 22′ | − 23,90 | − 23,39 | − 22,89 | − 22,38 | − 21,88 | − 21,38 | − 20,87 | − 20,37 | − 19,87 |
| 23′ | − 24,89 | − 24,38 | − 23,88 | − 23,37 | − 22,87 | − 22,37 | − 21,86 | − 21,36 | − 20,86 |
| 24′ | − 25,87 | − 25,36 | − 24,86 | − 24,35 | − 23,85 | − 23,35 | − 22,84 | − 22,34 | − 21,84 |
| 25′ | − 26,85 | − 26,34 | − 25,84 | − 25,33 | − 24,83 | − 24,33 | − 23,82 | − 23,32 | − 22,82 |
| 26′ | − 27,82 | − 27,31 | − 26,81 | − 26,30 | − 25,80 | − 25,30 | − 24,79 | − 24,29 | − 23,79 |
| 27′ | − 28,80 | − 28,29 | − 27,79 | − 27,28 | − 26,78 | − 26,28 | − 25,77 | − 25,27 | − 24,77 |
| 28′ | − 29,78 | − 29,27 | − 28,77 | − 28,26 | − 27,76 | − 27,26 | − 26,75 | − 26,25 | − 25,75 |
| 29′ | − 30,75 | − 30,24 | − 29,74 | − 29,23 | − 28,73 | − 28,23 | − 27,72 | − 27,22 | − 26,72 |
| 30° 30′ | − 31,73 | − 31,22 | − 30,72 | − 30,21 | − 29,71 | − 29,21 | − 28,70 | − 28,20 | − 27,70 |

Tabelle 3.

$K_1 = \frac{1}{2} \cdot H \cdot ctg \frac{A}{2}$ für Whitworth-Gew.

| ∅ Zoll | z | H mm | $K_1$* mm |
|---|---|---|---|
| 1/2 | 12 | 2,117 | + 2,033.12 |
| 5/8 | 11 | 2,309 | + 2,217.94 |
| 3/4 | 10 | 2,540 | + 2,439.73 |
| 7/8 | 9 | 2,822 | + 2,710.82 |
| 1 | 8 | 3,175 | + 3,049.67 |
| 1 1/8; 1 1/4 | 7 | 3,629 | + 3,485.33 |
| 1 3/8; 1 1/2 | 6 | 4,233 | + 4,066.23 |
| 1 5/8; 1 3/4 | 5 | 5,080 | + 4,879.47 |
| 1 7/8; 2 | 4 1/2 | 5,645 | + 5,421.64 |
| 2 1/4; 2 1/2 | 4 | 6,350 | + 6,099.35 |
| 2 3/4; 3 | 3 1/2 | 7,257 | + 6,970.66 |
| 3 1/4; 3 1/2 | 3 1/4 | 7,816 | + 7,506.89 |
| 3 3/4; 4 | 3 | 8,467 | + 8,132.46 |
| 4 1/4; 4 1/2 | 2 7/8 | 8,835 | + 8,486.05 |
| 4 3/4; 5 | 2 3/4 | 9,237 | + 8,871.78 |
| 5 1/4; 5 1/2 | 2 5/8 | 9,677 | + 9,294.24 |
| 5 3/4; 6 | 2 1/2 | 10,160 | + 9,758.93 |

* Gerechnet mit 1″ = 25,400.95 mm.

Tabelle 4.

$K_1 = \frac{1}{2} \cdot H \cdot ctg \frac{A}{2}$ für metrisches Gew.

| d mm | H mm | $K_1$ mm |
|---|---|---|
| 10 | 1,50 | + 1,299.04 |
| 12 | 1,75 | + 1,515.54 |
| 14, 16 | 2,00 | + 1,732.05 |
| 18, 20, 22 | 2,50 | + 2,165.06 |
| 24, 27 | 3,00 | + 2,598.08 |
| 30, 33 | 3,50 | + 3,031.09 |
| 36, 39 | 4,00 | + 3,464.10 |
| 42, 45 | 4,50 | + 3,897.11 |
| 48, 52 | 5,00 | + 4,330.13 |
| 56, 60 | 5,50 | + 4,763.14 |
| 64 ff | 6,00 | + 5,196.15 |
| für die Feingewinde | | |
| F 5 | 1,00 | + 0,866.03 |
| F 6 | 0,75 | + 0,649.52 |
| F 7 | 0,50 | + 0,433.01 |
| F 8 | 0,35 | + 0,303.11 |
| F 9 | 0,25 | + 0,216.51 |

Tabelle 5/6.

$$K_2 = \delta h \cdot \frac{1}{2} \cdot ctg \frac{A}{2}$$ für Whitworth- u. metrisches Gew.

| $\delta h$ $\mu$ | $K_2$ in $\mu$ für Whitw.-Gew. | $K_2$ in $\mu$ für metr. Gew. | $\delta h$ $\mu$ | $K_2$ in $\mu$ für Whitw.-Gew. | $K_2$ in $\mu$ für metr. Gew. |
|---|---|---|---|---|---|
| ± 0 | ± 0,00 | ± 0,00 | ± 6 | ± 5,76 | ± 5,20 |
| ± 1 | ± 0,96 | ± 0,87 | ± 7 | ± 6,72 | ± 6,06 |
| ± 2 | ± 1,92 | ± 1,73 | ± 8 | ± 7,68 | ± 6,93 |
| ± 3 | ± 2,88 | ± 2,59 | ± 9 | ± 8,64 | ± 7,79 |
| ± 4 | ± 3,84 | ± 3,46 | ± 10 | ± 9,61 | ± 8,66 |
| ± 5 | ± 4,80 | ± 4,33 | | | |

Tabelle 7.

$$K_3 = \delta \frac{\alpha}{2} \cdot \frac{H}{2 \cdot \sin^2 A/2}$$ für Whitworth-Gew.

$K_3$ in $\mu$.

| $\delta\alpha/2$ | $z =$ 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | $4^1/_2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ± 0′ | ∓ 0,00 | ∓ 0,00 | ∓ 0,00 | ∓ 0,00 | ∓ 0,00 | ∓ 0,00 | ∓ 0,00 | ∓ 0,00 | ∓ 0,00 |
| ± 1′ | ∓ 1,44 | ∓ 1,58 | ∓ 1,73 | ∓ 1,93 | ∓ 2,17 | ∓ 2,48 | ∓ 2,89 | ∓ 3,47 | ∓ 3,85 |
| ± 2′ | ∓ 2,89 | ∓ 3,15 | ∓ 3,47 | ∓ 3,85 | ∓ 4,33 | ∓ 4,95 | ∓ 5,78 | ∓ 6,93 | ∓ 7,70 |
| ± 3′ | ∓ 4,33 | ∓ 4,73 | ∓ 5,20 | ∓ 5,78 | ∓ 6,50 | ∓ 7,43 | ∓ 8,66 | ∓ 10,40 | ∓ 11,55 |
| ± 4′ | ∓ 5,78 | ∓ 6,30 | ∓ 6,93 | ∓ 7,70 | ∓ 8,66 | ∓ 9,90 | ∓ 11,55 | ∓ 13,86 | ∓ 15,40 |
| ± 5′ | ∓ 7,22 | ∓ 7,88 | ∓ 8,66 | ∓ 9,63 | ∓ 10,83 | ∓ 12,38 | ∓ 14,44 | ∓ 17,33 | ∓ 19,25 |
| ± 6′ | ∓ 8,67 | ∓ 9,45 | ∓ 10,40 | ∓ 11,55 | ∓ 13,00 | ∓ 14,85 | ∓ 17,33 | ∓ 20,79 | ∓ 23,11 |
| ± 7′ | ∓ 10,11 | ∓ 11,03 | ∓ 12,13 | ∓ 13,47 | ∓ 15,16 | ∓ 17,33 | ∓ 20,21 | ∓ 24,26 | ∓ 26,95 |
| ± 8′ | ∓ 11,55 | ∓ 12,60 | ∓ 13,86 | ∓ 15,40 | ∓ 17,33 | ∓ 19,80 | ∓ 23,10 | ∓ 27,72 | ∓ 30,80 |
| ± 9′ | ∓ 13,00 | ∓ 14,18 | ∓ 15,60 | ∓ 17,33 | ∓ 19,49 | ∓ 22,28 | ∓ 25,99 | ∓ 31,19 | ∓ 34,66 |
| ± 10′ | ∓ 14,44 | ∓ 15,75 | ∓ 17,33 | ∓ 19,25 | ∓ 21,66 | ∓ 24,76 | ∓ 28,88 | ∓ 34,66 | ∓ 38,51 |
| ± 20′ | ∓ 28,88 | ∓ 31,50 | ∓ 34,66 | ∓ 38,50 | ∓ 43,32 | ∓ 49,51 | ∓ 57,75 | ∓ 69,31 | ∓ 77,02 |
| ± 30′ | ∓ 43,33 | ∓ 47,26 | ∓ 51,98 | ∓ 57,75 | ∓ 64,98 | ∓ 74,27 | ∓ 86,63 | ∓ 103,97 | ∓ 115,53 |

| $\delta\alpha/2$ | $z =$ 4 | $3^1/_2$ | $3^1/_4$ | 3 | $2^7/_8$ | $2^3/_4$ | $2^5/_8$ | $2^1/_2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ± 0′ | ∓ 0,00 | ∓ 0,00 | ∓ 0,00 | ∓ 0,00 | ∓ 0,00 | ∓ 0,00 | ∓ 0,00 | ∓ 0,00 |
| ± 1′ | ∓ 4,33 | ∓ 4,95 | ∓ 5,33 | ∓ 5,78 | ∓ 6,03 | ∓ 6,30 | ∓ 6,60 | ∓ 6,93 |
| ± 2′ | ∓ 8,66 | ∓ 9,90 | ∓ 10,66 | ∓ 11,55 | ∓ 12,05 | ∓ 12,60 | ∓ 13,20 | ∓ 13,86 |
| ± 3′ | ∓ 13,00 | ∓ 14,85 | ∓ 16,00 | ∓ 17,33 | ∓ 18,08 | ∓ 18,90 | ∓ 19,80 | ∓ 20,79 |
| ± 4′ | ∓ 17,33 | ∓ 19,80 | ∓ 21,33 | ∓ 23,10 | ∓ 24,11 | ∓ 25,21 | ∓ 26,41 | ∓ 27,72 |
| ± 5′ | ∓ 21,66 | ∓ 24,75 | ∓ 26,66 | ∓ 28,88 | ∓ 30,14 | ∓ 31,51 | ∓ 33,01 | ∓ 34,66 |
| ± 6′ | ∓ 25,99 | ∓ 29,73 | ∓ 31,99 | ∓ 34,66 | ∓ 36,16 | ∓ 37,81 | ∓ 39,61 | ∓ 41,59 |
| ± 7′ | ∓ 30,32 | ∓ 34,65 | ∓ 37,32 | ∓ 40,43 | ∓ 42,18 | ∓ 44,10 | ∓ 46,20 | ∓ 48,51 |
| ± 8′ | ∓ 34,66 | ∓ 39,60 | ∓ 42,66 | ∓ 46,21 | ∓ 48,22 | ∓ 50,41 | ∓ 52,81 | ∓ 55,45 |
| ± 9′ | ∓ 38,99 | ∓ 44,56 | ∓ 47,99 | ∓ 51,98 | ∓ 54,24 | ∓ 56,71 | ∓ 58,41 | ∓ 62,38 |
| ± 10′ | ∓ 43,32 | ∓ 49,51 | ∓ 53,32 | ∓ 57,76 | ∓ 60,27 | ∓ 63,01 | ∓ 66,02 | ∓ 69,31 |
| ± 20′ | ∓ 86,64 | ∓ 99,01 | ∓ 106,64 | ∓ 115,52 | ∓ 120,54 | ∓ 126,03 | ∓ 132,03 | ∓ 138,62 |
| ± 30′ | ∓ 129,96 | ∓ 148,52 | ∓ 159,96 | ∓ 173,28 | ∓ 180,81 | ∓ 189,04 | ∓ 198,05 | ∓ 207,93 |

Tabelle 8. $K_3 = \delta \frac{\alpha}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{H}{\sin^2 A/2}$ für metrisches Gew.

$K_3$ in $\mu$.

| $\delta\,\alpha/2$ | $h =$ (in mm) 1,5 | 1,75 | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 3,5 | 4,0 | 4,5 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ± 0′ | ∓ 0,00 | ∓ 0,00 | ∓ 0,00 | ∓ 0,00 | ∓ 0,00 | ∓ 0,00 | ∓ 0,00 | ∓ 0,00 |
| ± 1′ | ∓ 0,87 | ∓ 1,02 | ∓ 1,16 | ∓ 1,45 | ∓ 1,75 | ∓ 2,04 | ∓ 2,33 | ∓ 2,62 |
| ± 2′ | ∓ 1,75 | ∓ 2,04 | ∓ 2,33 | ∓ 2,91 | ∓ 3,49 | ∓ 4,07 | ∓ 4,65 | ∓ 5,24 |
| ± 3′ | ∓ 2,62 | ∓ 3,05 | ∓ 3,49 | ∓ 4,36 | ∓ 5,24 | ∓ 6,11 | ∓ 6,98 | ∓ 7,85 |
| ± 4′ | ∓ 3,49 | ∓ 4,07 | ∓ 4,65 | ∓ 5,82 | ∓ 6,98 | ∓ 8,15 | ∓ 9,31 | ∓ 10,47 |
| ± 5′ | ∓ 4,36 | ∓ 5,09 | ∓ 5,82 | ∓ 7,27 | ∓ 8,73 | ∓ 10,18 | ∓ 11,64 | ∓ 13,09 |
| ± 6′ | ∓ 5,24 | ∓ 6,11 | ∓ 6,98 | ∓ 8,73 | ∓ 10,47 | ∓ 12,22 | ∓ 13,96 | ∓ 15,71 |
| ± 7′ | ∓ 6,11 | ∓ 7,13 | ∓ 8,15 | ∓ 10,18 | ∓ 12,22 | ∓ 14,25 | ∓ 16,29 | ∓ 18,33 |
| ± 8′ | ∓ 6,98 | ∓ 8,15 | ∓ 9,31 | ∓ 11,64 | ∓ 13,96 | ∓ 16,29 | ∓ 18,62 | ∓ 20,94 |
| ± 9′ | ∓ 7,85 | ∓ 9,16 | ∓ 10,47 | ∓ 13,09 | ∓ 15,71 | ∓ 18,33 | ∓ 20,94 | ∓ 23,56 |
| ± 10′ | ∓ 8,73 | ∓ 10,18 | ∓ 11,64 | ∓ 14,54 | ∓ 17,45 | ∓ 20,36 | ∓ 23,27 | ∓ 26,18 |
| ± 20′ | ∓ 17,45 | ∓ 20,36 | ∓ 23,27 | ∓ 29,09 | ∓ 34,91 | ∓ 40,72 | ∓ 46,54 | ∓ 52,36 |
| ± 30′ | ∓ 26,18 | ∓ 30,54 | ∓ 34,91 | ∓ 43,63 | ∓ 52,36 | ∓ 61,09 | ∓ 69,81 | ∓ 78,54 |

| $\delta\,\alpha/2$ | $h =$ (in mm) 5,0 | 5,5 | 6,0 | 1,0 | 0,75 | 0,50 | 0,35 | 0,25 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ± 0′ | ∓ 0,00 | ∓ 0,00 | ∓ 0,00 | ∓ 0,00 | ∓ 0,00 | ∓ 0,00 | ∓ 0,00 | ∓ 0,00 |
| ± 1′ | ∓ 2,91 | ∓ 3,20 | ∓ 3,49 | ∓ 0,58 | ∓ 0,44 | ∓ 0,29 | ∓ 0,20 | ∓ 0,15 |
| ± 2′ | ∓ 5,82 | ∓ 6,40 | ∓ 6,98 | ∓ 1,16 | ∓ 0,87 | ∓ 0,58 | ∓ 0,41 | ∓ 0,29 |
| ± 3′ | ∓ 8,73 | ∓ 9,60 | ∓ 10,47 | ∓ 1,75 | ∓ 1,31 | ∓ 0,87 | ∓ 0,61 | ∓ 0,44 |
| ± 4′ | ∓ 11,64 | ∓ 12,80 | ∓ 13,96 | ∓ 2,33 | ∓ 1,75 | ∓ 1,16 | ∓ 0,81 | ∓ 0,58 |
| ± 5′ | ∓ 14,54 | ∓ 16,00 | ∓ 17,45 | ∓ 2,91 | ∓ 2,18 | ∓ 1,45 | ∓ 1,02 | ∓ 0,73 |
| ± 6′ | ∓ 17,45 | ∓ 19,20 | ∓ 20,94 | ∓ 3,49 | ∓ 2,62 | ∓ 1,75 | ∓ 1,22 | ∓ 0,87 |
| ± 7′ | ∓ 20,36 | ∓ 22,40 | ∓ 24,43 | ∓ 4,07 | ∓ 3,05 | ∓ 2,04 | ∓ 1,43 | ∓ 1,02 |
| ± 8′ | ∓ 23,27 | ∓ 25,60 | ∓ 27,93 | ∓ 4,65 | ∓ 3,49 | ∓ 2,33 | ∓ 1,63 | ∓ 1,16 |
| ± 9′ | ∓ 26,18 | ∓ 28,80 | ∓ 31,42 | ∓ 5,24 | ∓ 3,93 | ∓ 2,62 | ∓ 1,83 | ∓ 1,31 |
| ± 10′ | ∓ 29,09 | ∓ 32,00 | ∓ 34,91 | ∓ 5,82 | ∓ 4,36 | ∓ 2,91 | ∓ 2,04 | ∓ 1,45 |
| ± 20′ | ∓ 58,18 | ∓ 64,00 | ∓ 69,81 | ∓ 11,64 | ∓ 8,73 | ∓ 5,82 | ∓ 4,07 | ∓ 2,91 |
| ± 30′ | ∓ 87,27 | ∓ 95,99 | ∓ 104,72 | ∓ 17,45 | ∓ 13,09 | ∓ 8,73 | ∓ 6,11 | ∓ 4,36 |

## III. Durchführung der Messung des Flankendurchmessers.

An der Innenmeßeinrichtung des Wagerecht-Optimeters werden die sonst für Innenmessungen bestimmten Bügel gegen andere ausgewechselt, die die jeweils günstigsten Kugeln tragen und möglichst nahe beieinander liegen. Auf den vertikal beweglichen, schwimmenden, kipp- und verschiebbaren Drehtisch stellt man nun den Lehrring so, daß seine Achse wagrecht liegt und die Kugeltaststifte in das Gewinde hineinragen. Durch Verschiebung des Optimeters (unter Auf- und Abwärtsbewegen des Tisches) wird der Optimeterausschlag für den größten Durchmesser des Lehrringes auf eine Mittelstellung gebracht und darauf durch Anheben des Optimeterbügels der Lehrring gegen die wagrecht liegende Kimmenkombination ausgetauscht. Nach wenigen Versuchen wird man diejenige Endmaßkombination $E$ gefunden haben, die nahezu die gleiche Optimeteranzeige bewirkt wie der Lehrring. Während man aber beim Lehrring den größten Ausschlag des Optimeters suchen muß, ist bei den Kimmen der kleinste Wert, (der den wirklichen Kimmenabstand bedeutet), unter Benutzung des Kipptisches zu ermitteln. In beiden Fällen müssen die Bügel (im Gegensatz zur sonstigen Anordnung) wagrecht liegen. Dies hat folgenden Grund: Würde nämlich der Lehrring so aufgestellt sein, daß seine Achse senkrecht steht, so müßte man den größten Ausschlag durch Kippen

des Tisches (da man ja über einen halben Gewindegang mißt), bei gleichzeitigem Auf- und Abwärtsbewegen und wagrechtem Verschieben aufsuchen. Bei der gewählten Anordnung stellt sich aber der Ring mit Hilfe des Drehtisches automatisch in die richtige Lage ein, da er angenähert über den Mittelpunkt der Tischdrehung liegt; es ist dann nur noch ein Auf- und Abwärtsbewegen des Tisches erforderlich. Ebenso müßte man bei senkrechter Bügellage bei den Kimmen durch Kippen, Drehen und vertikale Bewegung den kleinsten Ausschlag aufsuchen, wovon man zwar das erstere vermeiden könnte, wenn man den Bügelhalter in einem Kugellager wagrecht drehbar lagern würde, weil dann der Meßdruck die Kimmen zum Teil selbst ausrichtet. (Es empfiehlt sich, diese Kugellagerung des Kimmenhalters auch bei wagrechter Bügelanordnung beizubehalten, da der Halter stets außerhalb der Drehachse des Tisches liegt und der Meßdruck ohne eine besondere zusätzliche Drehvorrichtung nicht ausreichen könnte, um die richtige Einstellung hervorzurufen.)

Die bei wagrechter Bügellage in dem Hebelsystem der Innenmeßeinrichtung auftretenden Kippungen und Klemmungen und die damit verbundenen Schwankungen im Ergebnis werden dadurch auf ein geringstes Maß herabgedrückt, daß man sämtliche Teile bei allen Messungen in der gleichen Weise beansprucht. Es empfiehlt sich also, bei dem Lehrring den Tisch langsam von unten nach oben zu bewegen und durch wiederholtes Anlüften der Tastkugel und leichtes Klopfen auf das Grundbrett des Wagrechtoptimeters die Reibungen der Ruhe zu überwinden. Dabei kann leicht der größte Durchmesser gefunden werden. Das gleiche gilt sinngemäß für die Kimme. Die Messung selbst geht außerordentlich rasch vor sich, so daß es geraten ist, sie mehrmals durchzuführen und dabei auch die Kimmenkombination neu einzustellen, um alle Fehlerquellen möglichst auszuschalten. (Dieses Neueinstellen der Kombination kann leicht nötig werden; man bedenke, welcher Zeitverlust entstehen würde, wenn man dann jedesmal den Flankendurchmesser $F_0$ des Normales neu bestimmen müßte!)

Zum Schluß soll ein Zahlenbeispiel den ganzen Rechnungsvorgang erläutern.

Die Steigung eines 1″-Whitw.-Lehrringes ist im Mittel zu $h = 3{,}175.2$ mm, der halbe Flankenwinkel zu $\frac{\alpha}{2} = 27^0\,18'$ ermittelt worden. Es ist somit

$$\delta h = +0{,}2\,\mu \quad \text{und} \quad \delta\frac{\alpha}{2} = -12'.$$

Für die Kimmen war der halbe Flankenwinkel zu

$$\frac{\alpha_0}{2} = 27^0\;29{,}4', \qquad \left(\text{somit } \delta\frac{\alpha_0}{2} = -0{,}6'\right)$$

und die innere Kimmenkonstante zu

$$f_i = 6{,}034.6 \text{ mm}$$

bestimmt.

Unter Benutzung der Endmaßkombination

$$E = 20{,}398 \text{ mm}$$

und der günstigsten Kugeln vom Durchmesser $d = 1{,}79$ mm haben sich folgende Optimeteranzeigen ergeben:

| Lehrring ($M$) | Kimme ($M_0$) |
|---|---|
| + 1,3 μ | — 5,2 μ |
| + 0,8 | — 5,7 |
| + 0,9 | — 6,2 |
| + 1,1 | — 5,6 |
| + 0,6 | — 5,7 |
| + 0,9 μ | — 5,7 μ im Mittel |

Damit wird

$$(M - M_0) = +0{,}9 - (-5{,}7) = +6{,}6\,\mu\,,$$

und der Flankendurchmesser ergibt sich auf Grund der weiter oben angeführten Tabellen, in denen man nötigenfalls interpolieren muß, aus einer einfachen Addition:

| | | |
|---|---|---|
| $E$ | $=$ | 20,398 mm |
| $+f_i$ | $=$ | 6,034.6 „ |
| $+(M - M_0)$ | $=$ | 6.6 „ |
| $+d\left(\frac{1}{\sin\alpha/2} - \frac{1}{\sin\alpha_0/2}\right) = 1{,}79 \cdot 0{,}013.90$ | $=$ | 24.9 „ |
| $-(K_1 + K_2 + K_3) = -(3{,}049.67 + 0{,}000.19 + 0{,}025.99)$ | $=$ | $-$ 3,075.9 „ |
| $F$ | $=$ | 23,388.2 mm |

Über die Fehlergröße, die dadurch entsteht, daß die Kugeln einmal — bei den Kimmen — in zwei einander parallelen Prismen und das andere Mal — beim Lehrring — in einer Schraubenfläche anliegen, wird an anderer Stelle berichtet werden. Hier sei nur bemerkt, daß dieser Fehler bei dem hier vorliegenden Meßdruck unter allen Umständen zu vernachlässigen ist.

## IV. Theorie und Messung des ganzen Flankenwinkels.

In der Einleitung ist auf ein Verfahren, welches die Messung des halben Flankenwinkels mittels Abguß gestattet, hingewiesen worden. Hier soll nun noch angegeben werden, wie man auch durch Vergleich gegen die Kimmen mittels Kugeln den Flankenwinkel bestimmen kann. (Diese Methode liefert indessen nur den ganzen, nicht aber den — wichtigeren — halben Flankenwinkel.) Benutzt man nämlich zur Messung des Flankendurchmessers eines Lehrringes Kugeln von verschiedenem Durchmesser $d'$ und $d''$, wobei $d' > d''$ sein soll, so wird einmal

$$F = E + f_i + (M' - M_0') + d'\left(\frac{1}{\sin\alpha/2} - \frac{1}{\sin\alpha_0/2}\right) - \frac{1}{2}\cdot h\cdot ctg\frac{\alpha}{2}$$

und zum anderen Mal

$$F = E + f_i + (M'' - M_0'') + d''\left(\frac{1}{\sin\alpha/2} - \frac{1}{\sin\alpha_0/2}\right) - \frac{1}{2}\cdot h\cdot ctg\frac{\alpha}{2}.$$

Hieraus folgt:

$$\frac{(M'' - M_0'') - (M' - M_0')}{d' - d''} = \left(\frac{1}{\sin\alpha/2} - \frac{1}{\sin\alpha_0/2}\right).$$

Setzt man

$$(M'' - M_0'') = \varDelta'', \qquad (M' - M_0') = \varDelta'$$

und

$$(d' - d'') = \vartheta\,,$$

so wird

$$\frac{\varDelta'' - \varDelta'}{\vartheta} = \left(\frac{1}{\sin\alpha/2} - \frac{1}{\sin\alpha_0/2}\right),$$

$$\frac{(\varDelta'' - \varDelta')\cdot\sin\alpha_0/2 + \vartheta}{\vartheta\cdot\sin\alpha_0/2} = \frac{1}{\sin\alpha/2}$$

und

$$\sin\frac{\alpha}{2} = \frac{\vartheta\cdot\sin\alpha_0/2}{(\varDelta'' - \varDelta')\cdot\sin\alpha_0/2 + \vartheta}.$$

Zweckmäßigerweise wird man der Berechnung des Flankenwinkels aber nicht diese Endformel zugrunde legen, sondern man wird die Größe $\left(\frac{\varDelta'' - \varDelta'}{\vartheta}\right)$, die ja gleich

$\left(\frac{1}{\sin\alpha/2}-\frac{1}{\sin\alpha_0/2}\right)$ ist, bestimmen und dann aus den Tabellen 1 bzw. 2 sofort den (halben) Flankenwinkel ablesen.

Die Meßgenauigkeit ergibt sich aus folgender Überlegung:

Setzt man $\frac{\alpha}{2}=\frac{\alpha_0}{2}+\delta$, so wird nach der früher angedeuteten Näherungsrechnung

$$\frac{\Delta''-\Delta'}{\vartheta}=-\delta\cdot\frac{\cos\alpha_0/2}{\sin^2\alpha_0/2},$$

wobei $\frac{\alpha_0}{2}$ zunächst gleich dem Sollwert des betreffenden Gewindes, also $=27^0\,30'$ für Whitworth und $=30^0\,0'$ für metrisches Gewinde angenommen werden soll. Dann ergibt sich, wenn man noch $(\Delta''-\Delta')=\Delta$ setzt,

$$\frac{\Delta}{\vartheta}=-\delta\cdot C,\quad \text{wobei}\quad C=\frac{\cos\alpha_0/2}{\sin^2\alpha_0/2}$$

und somit $C=4{,}1602$ für Whitworth und $C=3{,}4641$ für metrisches Gewinde ist. Der Fehler $f$ von $\delta$ ist dann nach der Fehlerrechnung zu bestimmen. Er ergibt sich zu

$$f=\pm\,\delta\left(\frac{f_1}{\Delta}+\frac{f_2}{\vartheta}\right),$$

falls $f_1$ und $f_2$ die Fehler von $\Delta$ und $\vartheta$ bedeuten. Nimmt man $\vartheta=1$ mm, $\delta=10'$ $\sim 30.10^{-4}$, so wird (bei $\alpha_0=60^0$) $\Delta\sim 0{,}01$ mm. Setzt man ferner $f_1=\pm\,4\,\mu$ (da sich $\Delta$ aus vier Einzelbeobachtungen zusammensetzt), $f_2=\pm\,2\,\mu$ (da $\vartheta$ die Differenz zweier Kugeldurchmesser ist), so wird

$$f\sim\pm\,3\cdot10^{-3}\cdot\left(\frac{4\cdot10^{-3}}{0{,}01}+\frac{2\cdot10^{-3}}{1}\right)\sim\pm\,3\cdot10^{-3}\cdot(400\cdot10^{-3}+2\cdot10^{-3})$$
$$\sim\pm\,12\cdot10^{-4}\sim\pm\,4'.$$

Wie man sieht, spielt das Glied $\frac{f_2}{\vartheta}$ praktisch keine Rolle, selbst dann nicht, wenn $f_2$ 10 mal größer angenommen würde. Da ferner $\Delta$ proportional $\delta$ ist, so ist der Fehler $f$ von $\delta$ auch unabhängig von der Größe von $\delta$ (solange es sich um kleine Differenzen $\frac{\alpha}{2}-\frac{\alpha_0}{2}$ handelt). Der Fehler $f$ ist somit für alle in Frage kommenden Werte von $\delta$ zu $f=\pm\,4'$ anzusetzen.

Er läßt sich verringern, wenn $\vartheta$ — wie dies bei gröberen Gewinden der Fall ist — größere Werte annimmt, weil ja $\Delta$ mit $\vartheta$ proportional wächst und damit das Glied $\frac{f_1}{\Delta}$ im selben Verhältnis kleiner wird.

Zu $f$ kommt nun noch die Unsicherheit von $\pm\,1'$, mit der der halbe Flankenwinkel $\frac{\alpha_0}{2}$ der Kimmen bekannt ist, so daß der halbe Flankenwinkel eines Gewindes (aber nicht seine Schieflage zur Achse!) mit einer Genauigkeit von rund $\pm\,5'$ bestimmt werden kann. Der maximale Fehler des ganzen Winkels wird somit $\pm\,10'$, der wahrscheinliche etwa $\pm\,6$ bis $\pm\,7'$ betragen, während man bei gröberen Gewinden mit kleineren Werten rechnen kann.

Das Verfahren ist ferner zu verwenden zur Messung von einspringenden Winkeln an beliebigen Stücken (soweit dies auf dem Wagerechtoptimeter überhaupt möglich ist).

Verwendet man wieder zwei Kugeln von verschiedenem Durchmesser, so ergibt sich bei Vergleichsmessung gegen eine Kimme aus Abb. 7:

$$M_0' - \frac{1}{2}\cdot d'\cdot\frac{1}{\sin\alpha_0/2} = M_0'' - \frac{1}{2}\cdot d''\cdot\frac{1}{\sin\alpha_0/2} = f_0\,,$$

$$M' - \frac{1}{2}\cdot d'\cdot\frac{1}{\sin\alpha/2} = M'' - \frac{1}{2}\cdot d''\cdot\frac{1}{\sin\alpha/2} = f\,,$$

mithin also unter Einführung der oben gewählten Abkürzungen

$$\frac{\Delta' - \Delta''}{\vartheta/2} = \left(\frac{1}{\sin\alpha/2} - \frac{1}{\sin\alpha_0/2}\right).$$

Dieses Verfahren ist in der Anwendung durch die Größe der Prismen mit den Kimmen, die Länge der Schenkel und das Maß des Kimmenwinkels überhaupt beschränkt. (Man kann auch mit nur einer Kugel arbeiten, doch muß dann der Scheitelabstand des einspringenden Winkels von einer gegenüberliegenden Fläche bekannt sein.)

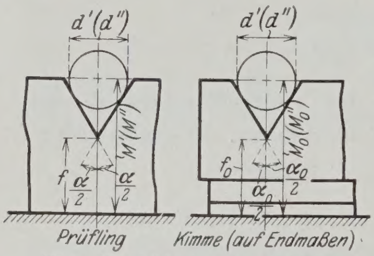


Abb. 7. Vergleich einspringender Winkel mit dem Kimmenwinkel.

Die zuletzt erwähnten Anwendungen machen — ebenso wie die Messung von Flankendurchmesser und -winkel von Außengewinden durch Vergleich mit (denselben) Kimmen — eine Umsetzung der Tastkugeln notwendig. Dabei ist nicht zu empfehlen, letztere etwa mittels einer Verlängerungshülse unmittelbar am Meßbolzen des Optimeters anzubringen. Die durch irgendwelche (nicht zu vermeidenden) Seitenkräfte verursachten Klemmungen würden dann das Meßergebnis beeinträchtigen. Deshalb ist es geraten, einen — in diesen Fällen senkrecht stehenden — Bügel vor das Optimeter zu schalten, so daß dessen Meßbolzen lediglich eine reine Verschiebung erfährt. Auf der Seite der festen Pinole ist dagegen der Bügel entbehrlich; hier können die Kugeln mit einer entsprechenden Hülse unmittelbar angesetzt werden.

**Literaturverzeichnis.**

1. G. Berndt, Die Gewinde und Erster Nachtrag dazu.
2. G. Berndt, *Maschinenbau.* ***8.*** *S. 209. 1929.*
3. A. Härtel, *Diese Zeitschr.* ***49.*** *S. 301. 1929.*
4. G. Berndt, *Werkzeugmaschine.* ***33.*** *S. 157. 1929.*
5. H. Lechla, Dissertation Techn. Hochsch. Dresden 1927.
6. K. Mütze, Dissertation Techn. Hochsch. Dresden 1929.
7. G. Berndt, Technische Winkelmessungen.

---

# Abänderungen und Ergänzungen an einem Hugershoff-Heydeschen Photogrammeter.

Von
Prof. Dr. **H. Löschner** in Brünn.

Das wegen seines geringen Gewichtes und des handlichen Aufbaues bei kleineren photogrammetrischen Aufnahmen (namentlich auf Forschungsreisen) gerne verwendete Hugershoff-Heydesche Photogrammeter, Type 1910, ist 1912 von Prof. Dr. Doležal im *Internationalen Archiv für Photogrammetrie*, Bd. III, dann in seiner verbesserten Konstruktion, Type 1914, von Prof. Dr. Ing. Hugershoff im gleichen Archiv Bd. IV beschrieben worden.

Beim öfteren Gebrauch eines solchen Photogrammeters, Type 1914 (Gustav Heyde G. m. b. H. Nr. 7772) habe ich einige Ergänzungen bzw. Abänderungen als vorteilhaft erkannt, die an einem von der Firma Aerotopograph in Dresden mit großer Sorgfalt hergestellten neuen Instrument (i. J. 1927) durchgeführt worden sind (Abb. 1 und 2) und die im nachfolgenden angegeben werden[1].

1. Bei der Bestimmung der Brennweite fällt das Absenkeln des Objektivmittelpunktes (der Blendenmitte) erfahrungsgemäß recht lästig. Um dieses Absenkeln zu

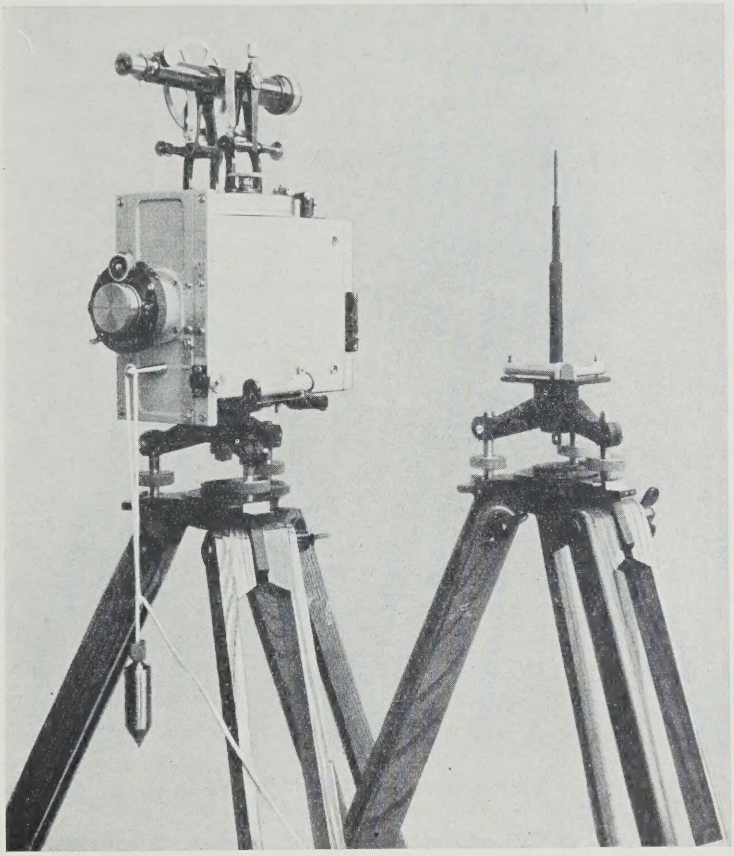


Abb. 1. Ansicht des Photogrammeters.

erleichtern und schärfer zu gestalten, habe ich angeregt, den rändrierten Kopf der Blendenfassung ringsherum mit einer Kerbe zu versehen, derart, daß die Senkelschnur in der Ebene des zweiten Hauptpunktes umgehängt werden kann. Dieser Gedanke fand in der Werkstätte eine Abänderung dahingehend, daß unter dem Objektiv ein Stift angebracht wurde, dessen Kopf in der Ebene des zweiten Hauptpunktes (in der Blendenebene) eine Kerbe zum Umhängen der Senkelschnur erhielt.

2. Bei der Type Hugershoff-Heyde 1914 ist dafür gesorgt, daß das Zielfernrohr für stereophotogrammetrische Aufnahmen durch eine Einschnappvorrichtung am Horizontalkreis in die Richtung senkrecht zur optischen Achse der Kamera eingestellt werden kann. Bei manchen Einzelbildaufnahmen ist es nun zweckmäßig, die Visierlinie des Einstellfernrohres in die Richtung der optischen Achse der Kamera

[1] Das neue Instrument war auf der Kultur-Ausstellung in Brünn 1928 ausgestellt.

zu bringen und mit dem Einstellfernrohr die Einstellung der Kamera in eine bestimmte Richtung durchzuführen. Ich ließ daher eine zweite Einschnappvorrichtung für das Einstellen des Fernrohres in die Richtung der optischen Achse der Kamera anbringen.

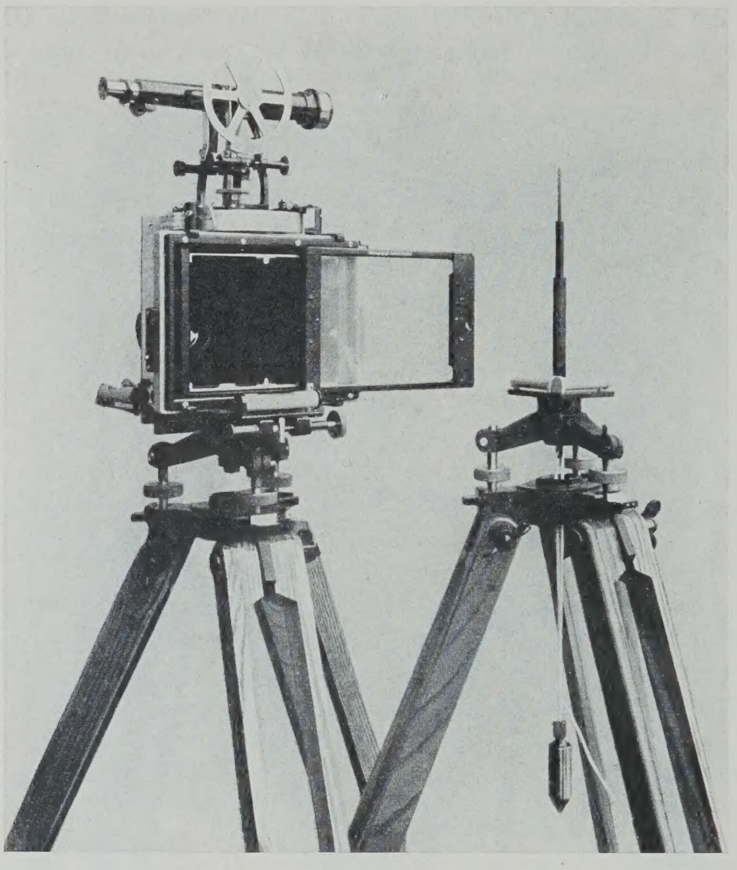


Abb. 2. Ansicht des Photogrammeters.

3. Die Horizont- und Vertikalmarken sind beim Hugershoff-Heydeschen Photogrammeter durch die Langseiten von trapezförmig geformten Metallplättchen gegeben (Abb. 3) (vgl. Abb. 3 im *Archiv für Photogrammetrie Bd. IV, 1914, S. 212*).

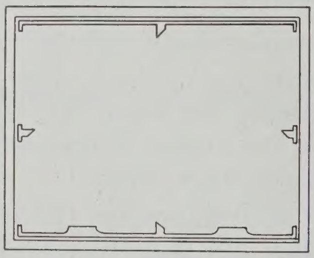


Abb. 3. Trapez-Zeiger-Marken.

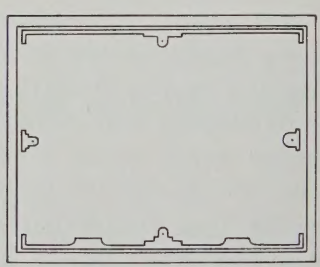


Abb. 4. Lochmarken.

Unter dem Mikroskop eines Plattenausmessers erscheinen nun aber die durch den Rand von Metallplättchen gegebenen Marken des von mir verwendeten Instrumentes Nr. 7772 nicht zur Gänze im Horizont bzw. in der Vertikalen, sondern teilweise schräg,

teilweise auch zackig, was bei der Ausmessung der Platten stört und Ungenauigkeiten mit sich bringt. Ich ließ daher an Stelle der „Trapez-Zeiger-Marken" vier Lochmarken anordnen, die erfahrungsgemäß nicht zu klein sein dürfen, um sicher abgebildet zu werden.

Die Lochmarken befinden sich in halbkreisförmigen Metallscheibchen (Abb. 4). Der linksseitigen Horizontmarke ließ ich eine von der rechtsseitigen Horizontmarke unterschiedliche Form geben (indem dort ein rechteckiger Lappen zwischen der Lochmarke und dem Markenrahmen angeordnet wurde), um bei etwas verschiedener Höhenlage der Horizontmarken den als maßgebend gewählten Bezugshorizont (z. B. den Horizont durch die linksseitige Marke) sicherer festhalten zu können und dadurch Höhenfehlern auszuweichen.

4. Das Einstellfernrohr ist bei meinem Instrumente nicht nur umlegbar, sondern auch in den Lagern durchschlagbar. Dabei sind in allen Lagen des Fernrohres Feineinstellungen ermöglicht, indem beide Fernrohrträger mit Feinstellschraube und Gegenfeder für den Klemmarm des Fernrohres versehen sind. Zur Ablesung der Höhenwinkel ist nicht nur ein Viertelkreis, sondern ein Vollkreis angeordnet. Beide Fernrohrträger sind mit einem Kreisnonius versehen. (Noniusangabe wie am Grundkreis eine Minute[1].)

Bei der Type Hugershoff-Heyde 1914 ist der eine Fernrohrträger mit Feinstellschraube und Gegenfeder für den Klemmarm des Fernrohrs, der andere Fernrohrträger mit einem Kreisnonius versehen. Das Fernrohr ist — ohne Öffnen der Lager — nicht durchschlagbar.

In Abb. 5 bedeutet $k k_1$ die Kippachse des Fernrohres auf der linksseitigen Station I. (Die Richtung der Kameraachse können wir uns mit der Richtung der Fernrohr-Kippachse zusammenfallend denken.) Ein Kollimationsfehler $c$ bringt die Visierlinie in die Richtung $v_1$. Nach Übertragen des Photogrammeters auf den rechtsseitigen Standpunkt II wird das Fernrohr (nach Aufklappen der Lagerdeckel) umgelegt, womit die Kippachsenzapfen ihre Lager wechseln und die Visierlinie in die Richtung $v_2$ gelangt. Nach Durchschlagen des Fernrohrs erhält die Visierlinie schließlich die Richtung $v_3$. Man erkennt, daß die in den Richtungen $k k_1$ bzw. $(k_1)(k)$ gedachten Aufnahmsachsen der Kamera in beiden Standpunkten I und II (unabhängig von einem etwaigen Ziellinienfehler) vollkommen parallel sind.

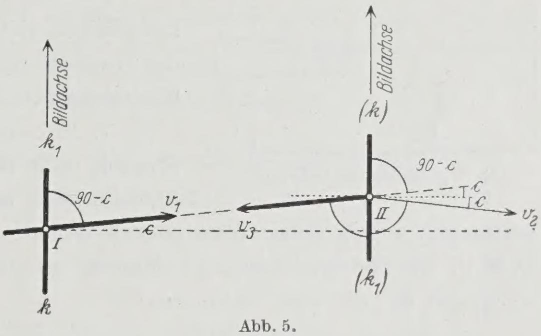


Abb. 5.

Die solide und exakte Konstruktion der Firma Aerotopograph läßt das Fernrohr nach Aufklappen der Lagerdeckel leicht und sicher aus den Lagern herausheben, mit Wechsel der Lager „umlegen" und schließlich durchschlagen. Durch Umlegen (Wechsel der Lager) und Durchschlagen des Einstellfernrohres wird der Ziellinienfehler eliminiert. Dieser Ziellinienfehler spielt bei stereophotogrammetrischen Aufnahmen eine große Rolle, denn er bewirkt einen doppelt so großen Konvergenz- bzw. Divergenzfehler der Bildachsen, wenn das Einstellfernrohr auf dem zweiten Basisendpunkt lediglich durchgeschlagen wird.

[1] Die in der Richtung des Fernrohrs befindliche Alhidadenlibelle kann bei Höhenwinkelmessungen als Versicherungslibelle dienen.

Es erschien mir zweckmäßig, das Fernrohr in den Lagern durchschlagbar einzurichten. Auf der zweiten Station wird das Fernrohr zunächst umgelegt und dann in den Lagern durchgeschlagen. (Bei sorgfältig beseitigtem Ziellinienfehler braucht man übrigens auf der zweiten Station das Fernrohr lediglich durchzuschlagen und nicht umzulegen; doch wird man im Hinblick auf einen etwaigen Restfehler das Umlegen zumeist vornehmen.)

5. Auf der Mattscheibe der Kamera ist die Hauptvertikale (also die Verbindungslinie der beiden Vertikalmarken am Meßrahmen) durch einen feinen schwarzen Strich gekennzeichnet. Dieser Strich wird bei manchen Aufnahmen beim Beschauen des Bildes auf der Mattscheibe dazu benützt, um die Kameraachse auf einen bestimmten Punkt (z. B. Orientierungspunkt) einzustellen.

Die Einstellung mit diesem Vertikalstrich (Zielfadenstrich) soll und kann natürlich nicht unter allen Umständen die Feineinstellung durch das Fernrohr ersetzen.

6. Das Herausziehen der dünnen Blechkassette mit der exponierten Platte geht bei Type 1914 nach meinen Erfahrungen nicht immer glatt und rasch vor sich. Am besten geht es noch, wenn man die Kassette an der Ecke rechts oben mit Daumen und Zeigefinger der rechten Hand faßt (während man mit dem Daumen der linken Hand die Randfeder des Kassettenrahmens hebt). Man hat dabei aber das unangenehme Empfinden, daß das feste Anfassen an der Ecke der dünnen Blechkassette einen schädlichen Druck auf die photographische Platte und einen Bruch derselben verursachen könne.

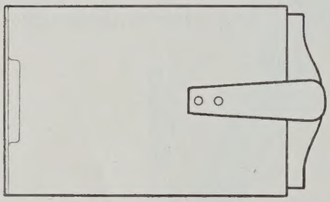


Abb. 6. Kassette mit Lederlasche.

Ich ließ nun an der Rückwand der Kassette eine Lederlasche befestigen[1] (Abb. 6), mit Hilfe dessen man die Kassette sicher und rasch — ohne Druck auf die photographische Platte — herausziehen kann.

7. Für manche Aufnahmen (namentlich in belebten Straßen oder bei Wind) hat sich ein Momentverschluß immer wieder als vorteilhaft erwiesen. Das neue Photogrammeter wurde daher über meinen Wunsch mit einem eingebauten Kompurverschluß D. R. P. Nr. 258646 versehen. (Damit war allerdings eine Vergrößerung der Brennweite auf rd. 135 mm verbunden[2].)

Bei Geländeaufnahmen des Topographen oder des Bauingenieurs, wo keinerlei sich bewegende Objekte vorkommen, erscheint natürlich ein solcher Kompurverschluß überflüssig. Es genügt in solchen Fällen beispielsweise der vielfach angewendete aufsteckbare „Zentralverschluß" der Firma Max Goergen in München[3], zumal die Belichtungszeit oft absichtlich verlängert wird durch Anwendung minder empfindlicher photographischer Platten, um möglichst sicher befriedigend gute Aufnahmen zu erhalten. So werden beispielsweise bei den mustergültigen phototopographischen Arbeiten des österreichischen Bundesvermessungsamtes in den Alpen die wenig empfindlichen „Perutz-Topo-Platten" mit vierfacher Gelbscheibe verwendet. Die aus einer Belichtungstabelle z. B. mit 5 Sekunden entnommene Belichtungszeit wird mit einer Stoppuhr gemessen.

Die Plattengröße ist 9 × 12 cm. Das Objektiv ist ein Zeiss-Tessar mit dem größten nutzbaren Öffnungsverhältnis 1 : 6,3. Mittels einer Irisblende kann die Öff-

[1] Das Annieten muß hier lichtdicht erfolgen!

[2] Auch auf der Prager Flugausstellung 1927 war ein Photogrammeter der Firma Aerotopograph-Dresden (allerdings mit größeren Abmessungen) mit einem Kompur-Momentverschluß versehen.

[3] Dieser Verschluß wird bekanntlich einfach auf das Objektiv gesteckt. Er ist nur für Zeitaufnahmen und für „normale" Momentaufnahmen (mit ca. $^1/_{30}$ Sek. Verschlußgeschwindigkeit) eingerichtet; die Einstellung auf verschiedene Verschlußgeschwindigkeiten ist nicht möglich.

ıung des Objektivs innerhalb f/6,3 und f/36 mm verändert werden. Zur Erzielung einer möglichst befriedigenden Tiefenschärfe werden die Aufnahmen bei kleinster Blende (und daher vielfach als Zeitaufnahmen) vorgenommen, sofern eben nicht gewisse Umstände eine Abweichung erfordern. Vor das Objektiv läßt sich eine Gelbscheibe aufstecken. Der Kompurverschluß kann für Belichtungszeiten zu 1, $^1/_2$, $^1/_5$, $/_{10}$, $^1/_{25}$, $^1/_{50}$, $^1/_{100}$ und $^1/_{250}$ Sekunde eingestellt werden.

Bei den Typen 1910 und 1914 ist das Objektiv ein winkeltreu zeichnendes Weitwinkel-ınastigmat mit der Brennweite 120 mm und dem Öffnungsverhältnis 1 : 9. Mittels einer Irisblende ‹ann die Objektivöffnung innerhalb f/9 und f/36 mm verändert werden. Dem Instrumente ist ein ›infacher Objektivdeckel beigegeben, der zweckmäßig durch eine Seidenschnur mit dem Apparat ose verbunden ist. Ein Momentverschluß ist von vornherein nicht beigegeben. Eine Gelbscheibe äßt sich auf das Objektiv aufschrauben. Um das aufzunehmende Objekt während der Ex-›osition (wo z. B. wechselnde Beleuchtungsverhältnisse oder mehr oder weniger bewegte Luft eine Rolle spielen können) beständig im Auge behalten zu können, habe ich an Stelle des Objektiv leckels einen aufsteckbaren Goergen-Verschluß mit Drahtauslöser verwendet.

8. Wie schon bei den Typen vom Jahre 1910 und 1914 kann das Objektiv nittels einer Triebschraube im vertikalen Sinn von der Normallage bei Null um 25 mm ıuf- und abwärts verschoben werden; die Größe der Verschiebung wird mit einem Vonius bis auf 0,1 mm abgelesen.

Neu hinzugekommen ist über meinen Wunsch die Ermöglichung einer raschen genauen Einstellung des verschiebbaren Objektivs auf die Nullstellung und auf 20 mm ober und unter Null durch Verwendung eines federnden Stiftes, der in Rasten Nuten) eingeführt wird.

Wie bei den früheren Typen wird mit der vertikalen Verschiebung des Objektivs automatisch die Horizontmarke vertikal verschoben, so daß die Lage des Horizonts im Augenblick ler Aufnahme durch die Horizontmarke auf der Platte ersichtlich ist. (Die Ablesung der Verschiebung des Objektivs an der seitlichen Millimeterskala ist laher in der Regel nicht erforderlich.)

9. Um das Messen der Instrumentenhöhe (also der Höhe der Objektivmitte über dem Bodenpunkt) zu erleichtern und zu verschärfen, ließ ich einen auf die Fassung des Kameraobjektivs aufsteckbaren Messingdeckel herstellen und auf diesen Deckel ein zentriertes Strichkreuz einreißen.

Da der Objektivdeckel mit dem Strichkreuz von der vertikalen Stehchse des Instruments nur um 10 cm seitlich absteht, entsteht bei einer tatächlichen (genau vertikal gemessenen) Instrumentenhöhe von 1,50 m infolge er *schiefen* Messung vom Bodenpunkt bis zur seitlichen Objektivmitte ein Fehler der Instrumentenhöhe von nur 3 mm, was zumeist belanglos ist.

Wollte man diesem kleinen Fehler ausweichen und die Messung der nstrumentenhöhe genau vertikal durchführen, so könnte man die in der Tachyaetrie vorteilhaft angewendete Messung mit unter der Herzschraube eingeängtem Meßband nachahmen. Man müßte dann auf der Unterseite des Dreiußes ein Häckchen anordnen, in welches beim Messen der Instrumentenhöhe er Ring eines 2 m langen Meßbandes einzuhängen wäre. Die Teilung und Bezifferung dieses Meßbandes wäre so auszuführen, daß der Abstand der Nullstellung des Kameraobjektivs bis zum Einhängepunkt des Meßbandes berücksichtigt erscheint und daß am Bodenpunkt unmittelbar die Instrumentenhöhe abgelesen wird.

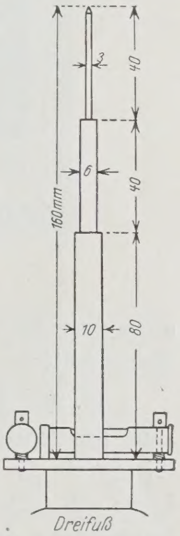


Abb. 7. Abgesetzter Zielstift.

10. Der Zielstift wurde über meinen Wunsch mit veränderlichem Durchmesser ausgeführt (also als abgestufter oder „abgesetzter" Zielstift[1]). (Abb. 7.)

[1] Die frühere Ausführung des Zielstiftes ist im *Internat. Arch. f. Photogrammetrie Bd. IV S. 215* abgebildet. — Bemerkt wird, daß das Fernrohr mit vertikalem Doppelfaden versehen ist.

Die Zwangszentrierung mit Federplatte, wie sie schon bei Type 1914 zu finden ist, wurde beibehalten. Es sind zwei gleichartige Stative beigegeben, auf denen sich Photogrammeter und Signal mit Zielspitze umsetzen lassen.

Erwähnt wird, daß sich die Verbindung von Instrument bzw. Signal und Stativ mit Hilfe der Hugershoff-Heydeschen „Federplatte" nach meinen Erfahrungen sehr gut bewährt: es ist eine sichere, erschütterungsfreie Überstellung und Auswechslung von Instrument und Spitzensignal gewährleistet.

11. Die Hugershoff-Heydesche Konstruktion des Stativs mit zusammenschiebbaren Beinen habe ich beim Transport und bei der Verwendung im Felde sehr zweckmäßig — leicht und sehr stabil — gefunden. Für kaltes Wetter (wo man mit steifen Fingern oder mit Handschuhen arbeitet) habe ich die Anwendung von Flügelmutter-

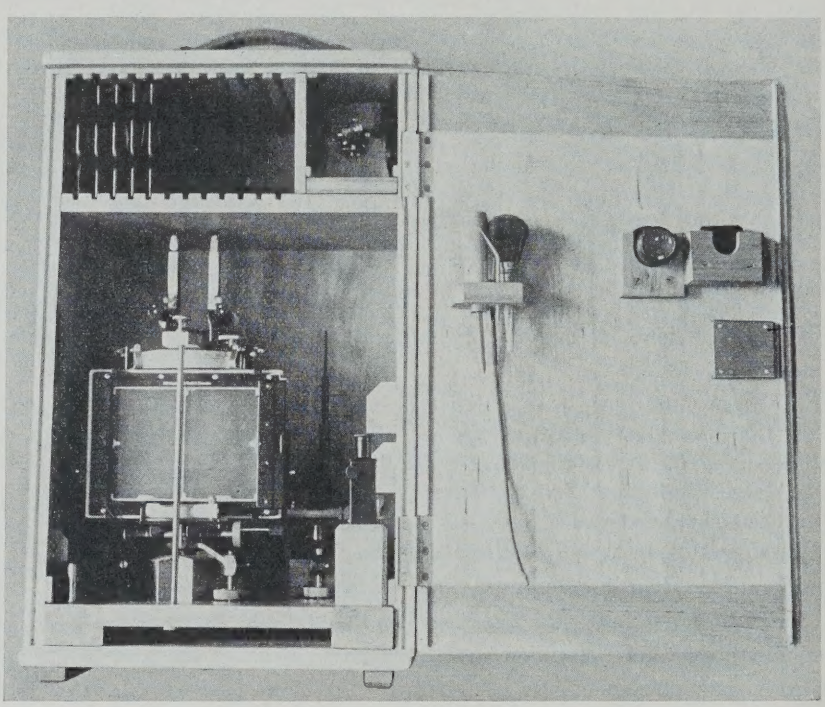


Abb. 8. Anordnung des Photogrammeters mit Zubehör im Kasten.

schrauben an Stelle der in der Stativmitte angewendet gewesenen Schrauben mit Bolzenmuttern empfohlen.

12. Bei Bestellung meines Photogrammeters (1927) habe ich auch eine Verlängerung des spitzen Eisenschuhes an den Stativbeinen angeregt. Ein solcher Eisenschuh (bisher ein 6 cm langer gußeiserner Klauenfuß mit 4 cm langem, zugespitztem Holzkern) soll nicht zu kurz sein, da er dann zu wenig Holz faßt, wodurch bei oftmaliger Verwendung des Stativs die Gefahr einer Lockerung des Schuhes entsteht. Auch der Trittansatz darf nicht zu schmal sein. Bei nur 2 cm Trittbreite hat der aufgesetzte Fuß noch zu wenig Halt, er rutscht leicht ab. Nach meinen Erfahrungen erfüllt der Trittansatz erst bei einer Breite von mindestens 3 cm so recht seinen Zweck[1].

[1] Recht zweckmäßig sind die aus Stahlblech gebogenen, langen Eisenschuhe mit Trittansätzen von 3 cm Breite, wie sie Ing. H. Wild bei seinen Stativen anordnen ließ. Auch Prof. Dr. E. Hammer hat die aus Stahlblech hergestellten Schuhe und „Tritte" hervorgehoben (vgl. sein Lehrbuch 1911, S. 303).

13. Die Unterbringung des Photogrammeters im Kasten erfolgte über meinen Vunsch in aufrechter Stellung. Dadurch wurde auch die Unterbringung des Signals nd von zwölf Kassetten im gleichen Kasten ermöglicht. (Abb. 8.)

Das Instrument wird mit einer Bodenschraube (Zentralschraube) auf einem Holz-chlitten befestigt und nach Einschieben dieses Schlittens in den Kasten durch Klötze ie auf der Rückwand des Kastens angebracht sind und durch ein Querholz mit tengelschraube festgehalten.

Der neue Instrumentenkasten ist außen 29 cm breit, 21,5 cm tief und 49 cm och. Er wiegt samt Inhalt 11,6 kg. Eines der zusammenschiebbaren Stative wiegt ,8 kg.

Bei der früheren Type (1914) ist das Instrument in liegender Stellung mit sechs Kassetten ı einem zwar kleineren Kasten (von 37,5 cm Breite, 20,5 cm Tiefe und 22 cm Höhe) unter-ebracht; man hat aber ein zweites kleines Kästchen (von 20 cm Breite, 13 cm Tiefe und 10 cm öhe) mit dem getrennt untergebrachten Signal zu tragen.

Der Instrumentenkasten wiegt samt Photogrammeter und sechs leeren Kassetten 7,80 kg, ıs Kistchen mit dem Signal wiegt 1,35 kg. Eines der beiden alten Stative wiegt 3,8 kg.

Die Einlagerung des Photogrammeters (1914) erfolgt sehr einfach und rasch; nur hat man eim Zumachen des Instrumentenkastens im besonderen darauf zu achten, daß das Okularrohr es vertikal eingestellten Fernrohrs mit dem Okulartrieb zur Gänze zurückgeschoben ist, da-it bei der knapp bemessenen Höhe des Kastens ein Aufsitzen des Kastendeckels auf das Okular ermieden wird.

Diese Vorsichtsmaßregel wird von den geübten und mit Sorgfalt arbeitenden Praktikern cherlich nicht als nennenswerter Nachteil empfunden werden; aber bei der Handhabung seitens ngeübter oder solcher Personen, die das Instrument nur zeitweise bedienen (namentlich auch für bungen mit Studenten), verdient diese Einzelheit doch auch Beachtung.

Schließlich wird bemerkt, daß die Kamera wie früher prismatisch gestaltet und aus Alu-iniumblech hergestellt ist. An Stelle des früheren mattgelben Lacküberzuges ist aber jetzt orteilhafterweise ein auch im Sonnenschein keineswegs hervortretender taubengrauer Lack-berzug angewendet.

---

# Ein Hängetheodolit für den Ölbergbau.

Von
**Karl Lüdemann** in Freiberg (Sa.).
(Mitteilung aus den Werkstätten für wissenschaftliche Präzisions-Instrumente der Max Hildebrand G. m. b. H. in Freiberg.)

Der für markscheiderische Arbeiten bestimmte, von E. v. Hammer in *dieser eitschr.* **32.** *S. 355—358. 1912* beschriebene Hängetheodolit Brandenberg-Hilde-rand ist im Laufe der Jahre für die verschiedensten bergvermessungstechnischen rbeiten fort- und ausgebildet worden. Heute sind in der Praxis erprobte Hänge-ıeodolite für alle Winkelmessungen des Markscheiders vorhanden, wie die vor kurzem erausgegebene Druckschrift der Max Hildebrand G. m. b. H. mit dem Titel: „Hänge-ıeodolite Brandenberg-Hildebrand“ (Nachtrag 4) nachweist. Diese Veröffentlichung eigt vier verschiedene Bauarten, die ihrer Genauigkeit nach durch den Präzisions-ängetheodolit auf der einen und den Nachtragehängetheodolit auf der anderen Seite egrenzt sind.

Obwohl durch die verschiedenen, bereits vorhandenen Ausbildungsformen den edürfnissen des untertägigen Bergbaues auf Stein- und Braunkohle, Erze, Kali usw. echnung getragen zu sein schien, ergab sich doch für einen allerdings sehr eigen-tigen Sonderzweig, nämlich für den Tiefbau auf Öl, eine Sonderaufgabe. Die mark-heiderischen Arbeiten sind bei dieser Bergbauart außerordentlich erschwert durch

die besonderen Verhältnisse, die in diesem Umfang und in ihrer Eigenart an anderen Stelle nicht auftreten. Es mußte daher ein hierfür geeigneter besonderer Hängetheodolit geschaffen werden.

Das Instrument muß an Unterzügen aus Holz von nur 5 cm Stärke und zwar grundsätzlich in der Firste aufgehängt werden, da des Eisenausbaues der Strecken wegen die Aufhängung am Stoß gewisse Schwierigkeiten oder mindestens eine unwirtschaftliche Verlangsamung der Arbeiten verursacht.

Da sich der Grubenbau im allgemeinen im Ölschwimmsand, also in einem Gemisch von Sand und Öl befindet, ist nach den vorliegenden Erfahrungen damit zu rechnen, daß die bei untertägigen Messungen gebrauchten Instrumente in ganz kurzer Zeit so mit Öl und Ölsand verunreinigt werden, daß sie nicht mehr verwendungsfähig sind. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, das Instrument so einzurichten, daß alle Einblicköffnungen vor Öl geschützt sind und daß dem Ölsand der Zutritt zu allen wichtigen Instrumententeilen unmöglich gemacht wird.

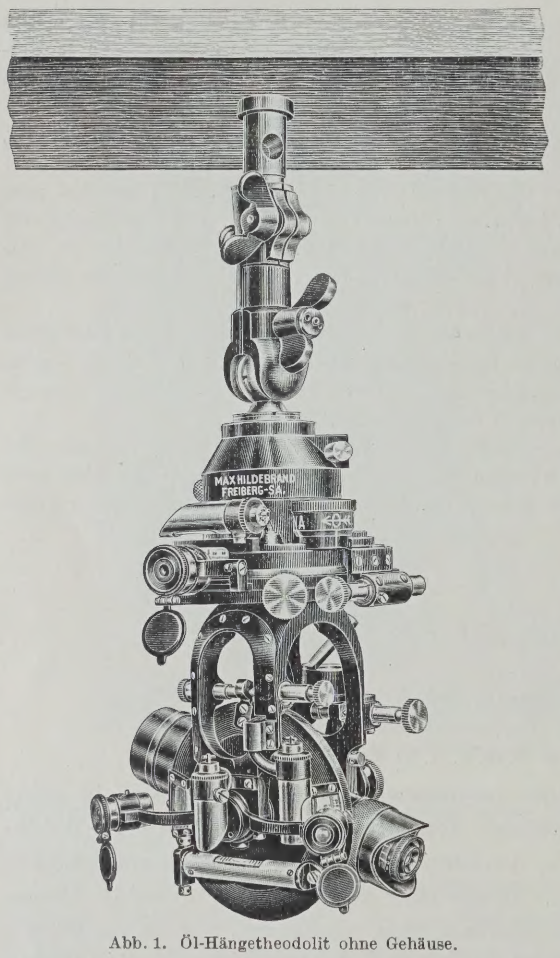


Abb. 1. Öl-Hängetheodolit ohne Gehäuse.

Das Instrument soll ferner elektrische Beleuchtung erhalten, die so geführt ist, daß sie einerseits den neuen strengen Vorschriften über den Gebrauch elektrischer Instrumente und Geräte in Schlagwettergruben entspricht und andererseits die Benutzung des Instrumentes auch dann erlaubt, wenn die elektrische Beleuchtung aus irgendwelchen Gründen nicht verwendet werden kann, man sich also mit einem Handgeleucht behelfen muß.

Über dem Instrument soll eine Schutzdecke angebracht werden, die es vor dem von oben herabtröpfelnden Öl schützt und so groß ist, daß der Markscheider darunter auch seine Beobachtungen aufschreiben kann. Schließlich soll das Instrument nach dem jeweiligen Gebrauch auf dem einzelnen Winkelpunkt in einem Behälter derartig und zwar ohne fühlbaren Zeitverlust untergebracht werden, daß es völlig geschützt von einem zum anderen Beobachtungspunkt getragen werden kann. Daneben wurde ein äußerst geringes Gewicht und möglichst geringe Größe des Instrumentes und außerdem eine solche Genauigkeit verlangt, daß alle in Frage kommenden Arbeiten damit ausgeführt werden können.

Für die Aufhängung des Ölhängetheodolits wurden besondere Pfriemen mit Holzgewinde konstruiert, die das Instrument in den hölzernen Unterzügen von nur 5 cm Stärke sicher festhalten.

Den neu konstruierten Ölhängetheodolit zeigt in einer Form, wie er praktisch ınter Tage nicht verwendet wird, die Abb. 1. Der Grundkreis ist mit dem gesamten Achsensystem in einen einzigen Körper eingeschlossen, der nur durch ein Fenster zum Ablesen zugänglich ist. Der Kreis von 8 cm Teilungsdurchmesser hat die Teilungs-inheit $^{1}/_{2}{}^{0}$; die Nonienangabe beträgt 1′. Die Ablesevorrichtung ist natürlich so an-;eordnet, daß der Beobachter sowohl den Grund- wie den Höhenkreis von einem Standpunkt aus ablesen kann, nachdem er von demselben Standpunkt aus das Fern-ohr eingestellt und die mittelbare Streckenmessung optisch vorgenommen hat.

Der Höhenkreis von 7 cm Teilungsdurchmesser ist ebenfalls völlig eingekapselt; eine Teilungseinheit beträgt $^{1}/_{2}{}^{0}$; die Angabe der beiden Nonien ist 1′.

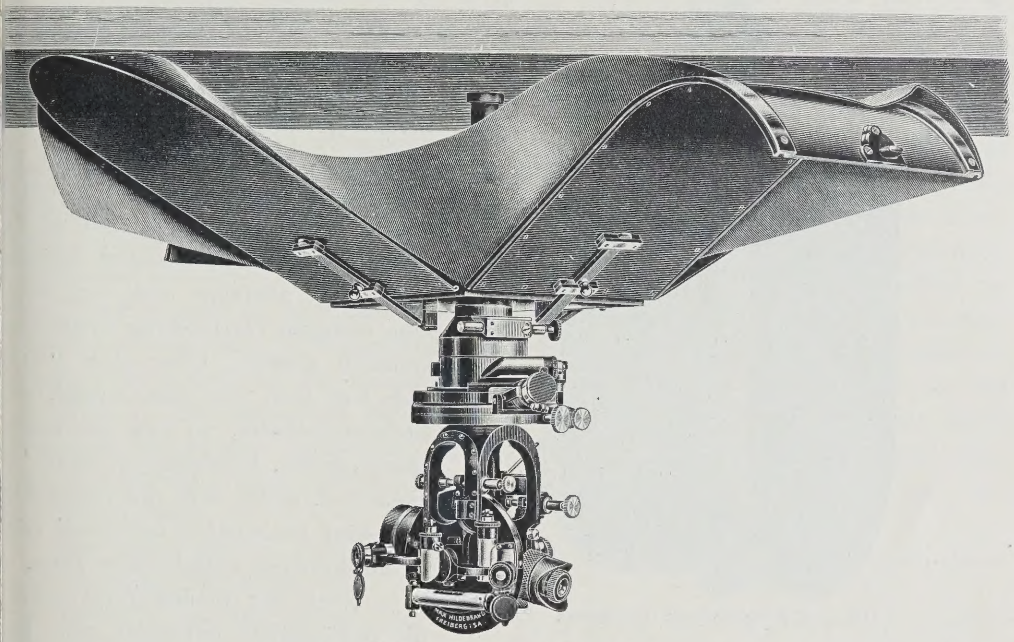


Abb. 2. Öl-Hängetheodolit, gebrauchsfertig.

Die Einblicköffnungen aller Ableselupen sind mit Verschlußdeckeln versehen, die ach dem Gebrauch hochgeklappt werden und auf leichten Druck, ohne die Lupe zu erstellen, festhaften. So wird ein Verunreinigen der Ableselupen vermieden.

Das an einer kurzen gedrungenen Stütze aufgehängte Fernrohr mit innerer chaltlinse ist in sich abgeschlossen, so daß das Eindringen irgendeiner Flüssigkeit, uch von Öl, ausgeschlossen ist. Das Objektiv hat 25 mm Öffnung; die Vergrößerung t 21fach. Das übersehbare wahre Gesichtsfeld umfaßt reichlich 2°. Die Austritts-upille hat einen Durchmesser von 1,2 mm, so daß sich eine „relative Helligkeit" von ,4 ergibt. Die kürzeste Zielweite beträgt 0,5 m. Objektiv und Okular sind in be-onderer Weise gegen das Verschmutzen durch Öl geschützt.

Das auf einer Strichplatte aus optischem Glas aufgetragene Fadenkreuz zeigt ie Bimlersche Anordnung und daneben horizontale und vertikale Entfernungsmeß-triche, da die Messung der Zugseiten überall dort, wo die dabei erzielbare Genauig-eit ausreicht, optisch erfolgen soll. Der Theodolit erledigt also die Messung der Iorizontal(Lage-)Winkel, der Vertikal(Höhen-)Winkel (trigonometrisches Nivellement) nd der Seiten oder Strecken in einem Zuge.

Die elektrische Beleuchtung ist so angeordnet, daß von einem Zentralschalter zwangsläufig beleuchtet werden: das Gesichtsfeld des Fernrohres, 1 Nonius des Grundkreises und 1 Nonius des Höhenkreises. Die Lampen sind so angebracht, daß bei Nichtgebrauch der Beleuchtung alle Ablesestellen mit einem Handgeleucht beleuchtet werden können. Drähte, die irgendwie hinderlich werden können, hängen selbstverständlich am Instrument nicht herum; sie sind sämtlich unbedingt sicher eingebettet.

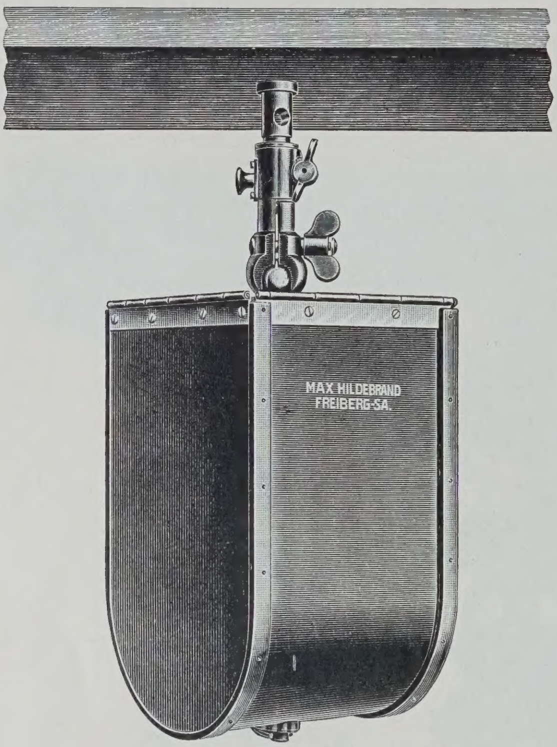


Abb. 3. Öl-Hängetheodolit im Gehäuse.

Die Lotrechtstellung der Steh- bzw. Hängeachse des Instrumentes geschieht mit einer Dosenlibelle; für den Höhenkreis ist eine besondere Alhidaden-Röhrenlibelle vorgesehen.

Der Schutz des an sich nach Möglichkeit in seinen Teilen eingekapselten Theodolits gegen aus der Firste herabtropfendes Öl wird dadurch herbeigeführt, daß die Wände des für den Transport des Instrumentes unter-Tage von Beobachtungspunkt zu Beobachtungspunkt bestimmten Gehäuses nach oben geklappt und dort durch eine einfache Verriegelung sicher festgehalten werden. Über diese Wandteile legt sich, wie Abb. 2 zeigt, eine Ledermanschette, so daß ein ausreichend großer, traufsicherer Raum erzielt wird, unter dem der Beobachter ungestört beobachten und auch seine Beobachtungen aufschreiben kann.

Nach der Beobachtung werden die Gehäuseteile entriegelt und heruntergeklappt, so daß, wie es Abb. 3 veranschaulicht, der Theodolit völlig geschützt hängt und nach der Abnahme sicher von einem zum anderen Standpunkt getragen werden kann. Dieser Schutz ist auch deshalb von Vorteil, weil bei der Messung von Zugwinkeln geringerer Genauigkeit das Additionsverfahren angewendet, der jeweilige Richtungswinkel einer Zugseite also durch Anschluß an den Richtungswinkel der Ausgangsseite rein mechanisch durch Messung erhalten wird.

---

# Die lichtelektrische Zelle als Meßinstrument.

Von

**Rudolf Sewig** in Berlin.

(Mitteilung aus dem Röhrenlaboratorium der Osram G. m. b. H. K. G. Fa. A. Berlin.)

Die lichtelektrische Zelle hat längst aufgehört, nur ein interessantes Laboratoriums- und Demonstrationsinstrument zu sein. Die in jüngster Zeit immer umfangreicher werdende Anwendung bei Klangfilm, Bildtelegraphie und Fernsehen hat zur Entwicklung von Zellentypen geführt, die in bezug auf Empfindlichkeit bereits bedeutend mehr leisten als die alten Zellen von Elster und Geitel und auch in bezug auf

Konstanz schon weitgehenden, wenn auch lange noch nicht allen Ansprüchen genügen. n dem Maße, wie Empfindlichkeit, Konstanz und Ermüdungsfreiheit der lichtelek-rischen Zelle verbessert werden, steigen die Aussichten, dieselbe als nützliches und uverlässiges Element in die Meßtechnik einzuführen.

## 1. Abgrenzung.

Zu den „Photozellen als Meßinstrumente“ rechnen wir hier nur solche Anord-ungen, die auf die Messung einer integralen bzw. einer mehr oder weniger mono-hromatischen Strahlung durch den ausgelösten Photostrom hinzielen, nicht aber die ielfach verwendeten und nützlichen Apparate, bei denen die Photozelle in Verbindung ıit Meßinstrumenten anderer Art als Kontroll- oder Steuerorgan dient (wozu z. B. ie Kontrolle und der Antrieb von Pendeluhren zu rechnen wären).

## 2. Material und Herstellung der lichtelektrischen Kathoden.

Für Messungen von ultrarotem Licht kommen Zellen, die auf dem „äußeren chtelektrischen Effekt“ (Auslösung von Photoelektronen aus einer belichteten Metall-chicht) beruhen, zur Zeit noch nicht in Frage. Es sind zwar, u. a. von Campbell (6)[1], ellen entwickelt worden, deren Kathoden aus einer monomolekularen Kaliumschicht, orzugsweise auf einem Schwermetall als Träger, bestehen. Dieselben sprechen im ahen Ultrarot noch an, sind aber inkonstant und erfordern wiederholte Neuaktivierung urch Glimmentladung in Wasserstoff, zu welchem Zweck sie ein eingeschmolzenes 'alladiumrohr enthalten. Im nahen Ultrarot empfindlich sind ferner einige der auf em „inneren lichtelektrischen Effekt“ (Leitfähigkeitsänderung von Halbleitern durch Belichtung) beruhenden Indikatoren, z. B. Thalofide- oder Selenzellen. Auch diese ommen vorläufig wegen ihrer Inkonstanz und Trägheit für Meßzwecke selten oder ar nicht in Frage.

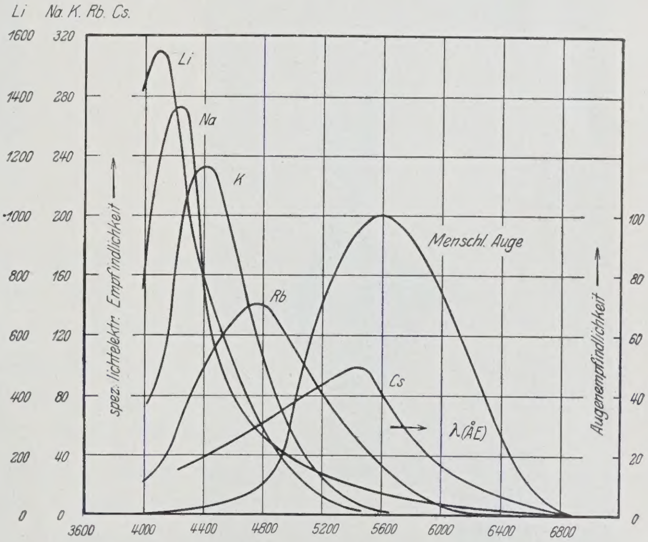


Abb. 1. Lichtelektrischer Effekt der Alkalimetalle.

Für Messungen im Ultra-iolett eignen sich Zellen mit iner Kathode aus Magnesium, ink, Cadmium oder Lithium, ngeschlossen in Gefäße aus uarz oder ultra-violettdurch-ssigem Glas (Uviol-, Vitalux-las). Praktisch interessiert meist as Gebiet der „Dorno-Strah-ıng“ (2900 bis 3100 Å-E). Man erwendet meistens die Kad-ıiumzelle, welche, in Quarz ein-eschlossen, ohne Filter etwa vischen 2450 und 3100 Å-E npfindlich ist, und deren In-rvall durch vorgesetzte Filter ıf das Gebiet der Dorno-trahlung beschränkt wird.

Für das sichtbare Spektrum empfiehlt sich die Verwendung eines Alkalimetalls s lichtelektrisch empfindliche Kathode. (Wesentlich geringere Bedeutung haben andere

[1] Vgl. das Literaturverzeichnis in Abschn. 8.

Metalle, z. B. Barium.) Die spektrale Empfindlichkeitsverteilung von kompakten Alkalikathoden zeigt nach Zworykin (33) Abb. 1. Am meisten der spektralen Empfindlichkeitsverteilung des menschlichen Auges angenähert verläuft die Kurve für Cäsium. Die Verwendung des Cäsiums als Photokathode macht ein Trägermetall nötig, da Cäsium bereits bei 26° C schmilzt. Als solches wird gern Magnesium genommen. Die erforderliche Alkalimenge ist sehr klein. Es genügt vollauf eine wenige Atomdicken starke Schicht. Unter Umständen ist eine nur eine Atom- bzw. Molekeldicke starke Schicht am besten geeignet. Die im Handel befindlichen, eine auf Magnesium niedergeschlagene Cäsiumschicht als Kathode enthaltenden Zellen haben zwar dünne, aber nicht ausgesprochen monomolekulare Schichten (Zworykin und Wilson (35)). Solche Zellen werden z. B. in Amerika von Raytheon und Westinghouse, in Deutschland von Osram hergestellt (vgl. Abb. 2). Am verbreitetsten sind zur Zeit immer noch Kaliumkathoden, insbesondere solche, die durch eine Glimmentladung in Wasserstoff mit einer oberflächlichen, grün bis blau gefärbten Schicht bedeckt (hydriert) sind. Beispiele solcher Zellen

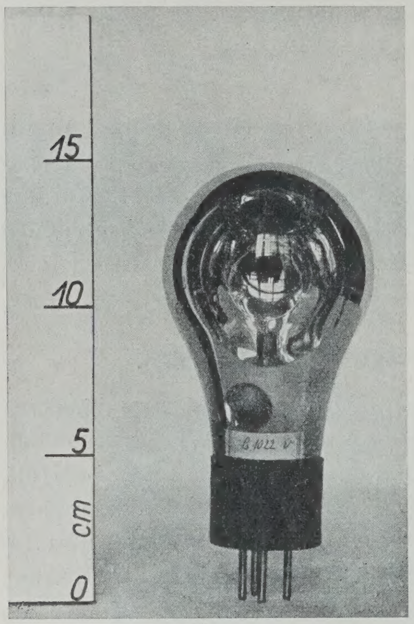



Abb. 2. Caesium-Photozelle (Osram) (Versuchsausführung).

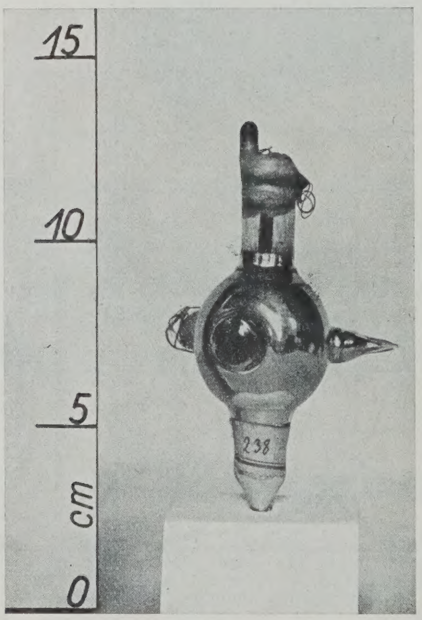



Abb. 3. Meßzelle (Salzmann) Schwarze-Körper-Form.

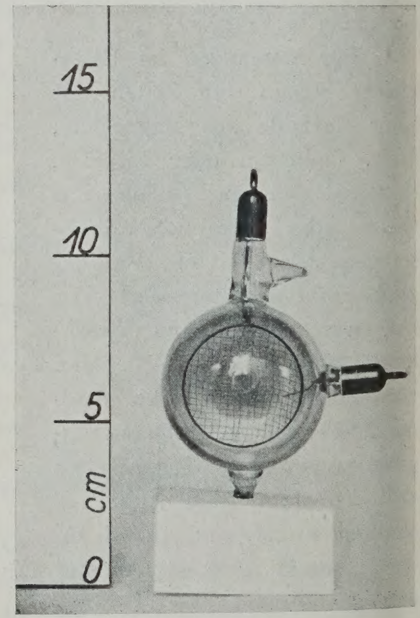



Abb. 4. Zelle mit ebener Kathode und Netzanode (General Electric Co.).

zeigen Abb. 3 bis 6. Das Hydrierverfahren, wie es heute üblich ist, weicht wenig von dem bereits seit Elster und Geitel bekannten ab. Das Resultat ist eine Er-

ıöhung der Allgemeinempfindlichkeit und Verlagerung der Schwelle nach längeren Vellen hin. In bezug auf Empfindlichkeit steht für Temperaturstrahler das Rubidium ;wischen Kalium und Cäsium. Es wird relativ selten angewendet, da sein Preis um venig geringer ist als der des Cäsiums. Natrium und Lithium werden noch seltener ınd nur in Fällen verwendet, wo eine bestimmte spektrale Verteilung erwünscht ist. Eine Ausnahme bildet die Verwendung der elektrolytisch dargestellten Natriumzellen, lie sich bei allerdings geringer Allgemeinempfindlichkeit durch gute Konstanz aus-eichnen.

Besonders interessant und wichtig sind Zellen, die auf einem Trägermetall (z. B. Kupfer oder Silber) oder auf einer oberflächlichen Oxydschicht desselben niederge-chlagene monomolekulare Cäsium-, Rubidium- oder Kaliumschichten enthalten. Die

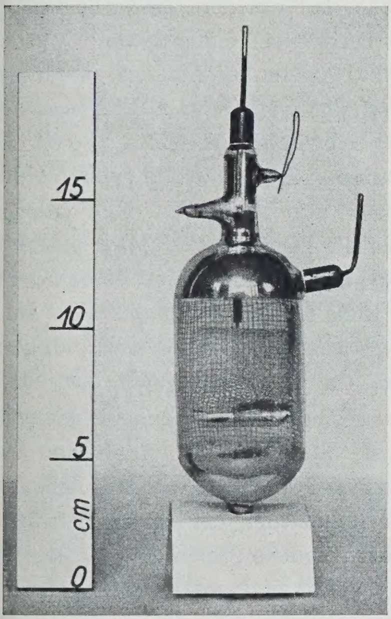



Abb. 5. Zelle mit zentraler Kathode (General Electric Co.)

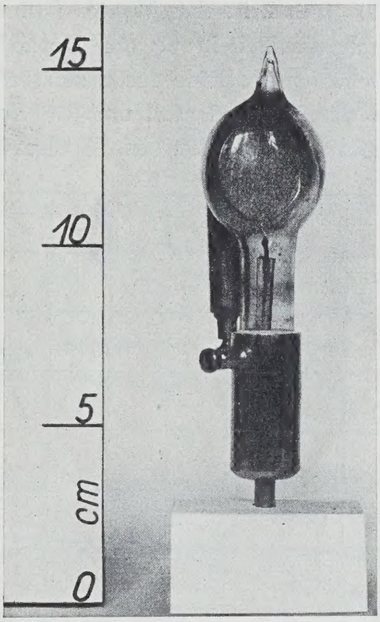



Abb. 6. Zelle mit ebener Kathode und Netzanode (Preßler).

Virksamkeit der monomolekularen Schichten erklärt sich durch die Verringerung der ablösungsarbeit der Elektronen und damit Verschiebung der langwelligen Grenze in Richtung zum Ultrarot, z. T. auch (bei oxydiertem, schwammigem Trägermetall) durch lie Vergrößerung der aktiven Oberfläche. Zellen mit Monoschichten stellen heute in ezug auf günstige spektrale Verteilung und Allgemeinempfindlichkeit das Beste des Erreichten dar, leider noch nicht in bezug auf Konstanz (siehe Abschnitt 4).

Zur Herstellung der Alkalikathoden kennt man mehrere Verfahren. Bei Zellen nit kompakten Schichten, die relativ große Metallmengen enthalten, wird das sorg-ältig gereinigte und im Hochvakuum mehrmals destillierte Alkalimetall durch Schmelzen der Destillieren in die Zelle gebracht, ein zwar sauberes, aber umständliches und eueres Verfahren. Bei Zellen mit Monoschichten wird allgemein in der Zelle das Alkali durch chemische Reduktion aus einer „Pille“ bei hoher Temperatur in der von ler Fabrikation der Radioröhren her bekannten Weise gewonnen, eine Methode, die war nicht denselben Grad von Sauberkeit verbürgt, aber bequemer und billiger ist.

Das bereits seit einigen Jahren auf die Herstellung von Photokathoden angewendete Verfahren der elektrolytischen Überführung von Alkali-Ionen durch das Glas gewinnt steigende Bedeutung.

## 3. Gasfüllung.

Nach der Präparierung der lichtelektrischen Kathoden werden Photozellen entweder unter dem äußersten erreichbaren Hochvakuum von der Pumpe abgeschmolzen oder vorher mit einem die Kathode nicht angreifenden Gas gefüllt. Als solches kommen die Edelgase, besonders Argon, Helium oder Neon, ausnahmsweise auch Wasserstoff in Frage. Zweck der Gasfüllung ist Vergrößerung des Zellenstromes durch Stoßionisation der lichtelektrischen Elektronen. Hochvakuumzellen haben eine Sättigungsspannung, die bei den handelsüblichen Zellenformen meistens zwischen 10 und 100 V liegt. Gasgefüllte Zellen haben keine Sättigungsspannung, jedoch muß die Anodenspannung unterhalb eines kritischen Wertes (Glimmspannung) bleiben, bei welchem eine selbständige, durch die Belichtung der Kathode nicht mehr steuerbare Glimmentladung einsetzt, welche die Kathode rasch zerstört. Die Glimmspannung setzt sich additiv zusammen aus dem Kathodenfall und der Ionisierungsspannung des betreffenden Füllgases. Sie liegt bei Alkalizellen mit Edelgasfüllung in der Regel zwischen 100 und 200 V. Die Stromspannungskurve für den typischen Fall einer hochevakuierten und einer edelgasgefüllten Zelle zeigt Abb. 7. Man sieht, daß es für Meßzwecke nicht gut ist, eine gasgefüllte Zelle mit einer nahe der Zündspannung gelegenen Anodenspannung zu betreiben, da in diesem Fall der Strom stark von geringen Schwankungen der Spannungsquelle abhängig ist. Auch der Umstand, daß sich bei den meisten Zellen infolge der namentlich bei starker Belichtung und hohen Anodenströmen eintretenden allmählichen Veränderungen der aktiven Schicht (vgl. auch Abschnitt 4) eine Änderung, meist Senkung, der Zündspannung, bemerkbar macht, verbietet zu hohe Anodenspannungen. Eine weitere Folge dieser Betriebsweise ist die allmähliche Entaktivierung der Hydrid- oder Monoschichten durch den Aufprall der positiven Ionen, eine der Zerstörung der thermischen Oxydkathoden analoge Erscheinung, die ebenfalls eine mit wachsender Betriebsspannung rasch absinkende Lebensdauer der Zellen zur Folge hat.

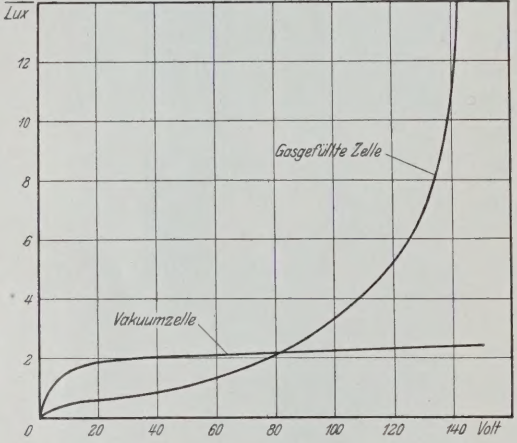


Abb. 7. Strom-Spannungs-Kennlinie einer gasfreien und gasgefüllten Zelle.

Bei Messungen über größere Spektralverteilung ist zu beachten (Fleischer und Goldschmidt (9)), daß die Neigung der Stromspannungscharakteristik gegen die Achse bei gasgefüllten Zellen von der Wellenlänge des Lichtes abhängt, während dieselbe bei guten Vakuumzellen (bei Sättigung) streng parallel der Achse verläuft.

## 4. Konstanz, Reproduzierbarkeit, Ermüdung.

Der Elektronenstrom der lichtelektrischen Zelle ist bei Einstrahlung monochromatischen Lichtes der Intensität der absorbierten Strahlung proportional. Abweichungen treten insbesondere bei gasgefüllten Zellen bei hohen Anodenspannungen einerseits, bei starken Belichtungen (großen Strömen) andererseits auf. Über Abweichungen von der Linearität, vgl. z. B. Koller (16). Auf möglicherweise in der Nähe der langwelligen

Grenze auftretende Abweichungen vom Einsteinschen Gesetz ist kürzlich wiederholt aufmerksam gemacht worden (vgl. hierzu Nottingham (22)). Jedenfalls dürfen die Ergebnisse von Ives und Oplin und von Nottingham bei Messungen in großer Nähe des Schwellenwertes nicht übersehen werden.

Entscheidend für die Verwendung lichtelektrischer Zellen als Meßinstrumente ist die Frage nach Konstanz und Reproduzierbarkeit ihrer Angaben über kürzere oder längere Zeitintervalle. Kurzzeitige Konstanz, wie sie heute bei den in dieser Beziehung besten Zellen erreicht ist, ermöglicht sekundäre Messungen (Anschluß an Normal-Intensitäten) bei Verwendung spektral zerlegter Strahlung. Genaue Messungen der (sichtbaren) Gesamtstrahlung und Benutzung der Photozelle als Gebrauchsnormal im Anschluß an einen umständlicheren und selten erfolgenden Vergleich mit einem primären Normal setzen dagegen eine bis heute noch nicht erreichte Konstanz in bezug auf Betrag und spektrale Verteilung der Empfindlichkeit voraus. Für geringere Ansprüche, z. B. Photometrie technischer Glühlampen, liegt jedoch heute schon eine genügende Grundlage vor. Praktisch absolut konstant sind Alkalizellen, wenn sie sorgfältigst hergestellt wurden, keine besonders aktivierte Oberflächenschicht (z. B. Hydrierung) aufweisen und Kunstfehler der Meßanordnung (s. Abschnitt 6) vermieden werden. Das beste Mittel zur Herstellung sehr sauberer Alkalikathoden scheint zur Zeit die Glaselektrolyse zu sein. Solche Zellen sind praktisch absolut konstant und frei von lichtelektrischer Ermüdung. Ursachen für die Ermüdung liegen meistens in der Adsorption bzw. Absorption von Gasresten oder Ionen an den lichtelektrisch wirksamen Oberflächen, deren Wirkung ja bekanntlich sehr weitgehend vom Zustand der Gasbeladung abhängt. Relativ bedeutende Ermüdungserscheinungen zeigen sich bei starken Bestrahlungen ausgesetzten U.V.-Intensitäten messenden Cadmiumzellen (Kestner (15)).

### 5. Zellenformen.

Für die Wahl der Zellenformen ist die spezielle Anwendung maßgebend. Die für Meßzwecke zur Zeit am geeignetsten erscheinende Type ist die „Hohlraumform". (Abb. 2, 3.) Das Innere der Zelle hat die Form eines vorwiegend kugel- oder walzenförmigen Hohlraumes, an dessen Wandung sich die kathodische Schicht befindet. Die Innenwand ist so weit von der Kathodenschicht bedeckt, wie mit Rücksicht auf Lichteintrittsöffnung und Anodendurchführung möglich ist. Man erreicht hierdurch, daß die auf die Kathode auffallende und dort reflektierte Strahlung die Zelle nicht verläßt, sondern immer wieder auf andere Teile der Kathode trifft, also bestmöglich ausgenützt wird. Das Vorhandensein großer nicht bedeckter Glasflächen des Kolbens hat außerdem die Ansammlung einer als Bremsfeld wirkenden Elektronenladung an diesen Stellen und damit Erhöhung der Sättigungsspannung bei Vakuumzellen, gegebenenfalls auch Kriecherscheinungen zur Folge (P. P. Koch (17)). Sind große Fenster der Zelle unvermeidlich, so hilft man sich durch eine mit der Kathode leitend verbundene, durchsichtige Innenversilberung des Kolbens. Gelegentlich wird (vgl. Abb. 5) auch eine zentrale plattenförmige Kathode und ein an der Kolbenwand nach Art eines Faraday-Käfigs anliegendes Anodennetz verwendet.

Eine andere, weit verbreitete Zellenform enthält die Kathode als völlig oder nahezu ebene Schicht (niedergeschlagen auf der geeignet geformten Glaswand und ein der Kathode nahe gegenüber stehendes Drahtnetz von ähnlichen Abmessungen als Anode, Abb. 4, 6). Der Durchgriff einer bei solchen Zellen möglichen statischen Wandladung durch das Anodennetz ist bei genügender Engmaschigkeit desselben zu vernachlässigen. Die beiden zuletzt erwähnten Zellenformen haben, ebenso wie die Hohl-

raumform, als Vakuumzellen eine definierte Sättigungsspannung und zeigen keine Kriecherscheinungen. Daß zur Erreichung der Proportionalität von Lichtstrom und Elektronenstrom eine gute Isolation der Anode Voraussetzung ist, versteht sich von selbst. Der Dunkelwiderstand einer guten, für Meßzwecke geeigneten Zelle sollte nicht unter $10^9$ Ohm sein und kann bei Verwendung gut isolierender Gläser, Verhinderung von Kriechwegen in der Zelle (besonders bei den leicht flüchtigen Alkalimetallen), ferner auch durch Einführung getrennter Einschmelzungen für beide Elektroden noch um mehrere Dezimalen erhöht werden. Zu erwähnen ist noch die Anordnung eines zu erdenden Schutzringes um die Anodendurchführung bei manchen zu Meßzwecken bestimmten Zellen.

Spezialformen mit einer zentralen Kathode von geringer Ausdehnung und käfigartig darum angeordneter Anode sind gelegentlich angewendet worden. Wegen ihrer theoretisch bei Null Volt gelegenen Sättigungsspannung eignen sie sich für spezifisch lichtelektrische und ähnliche Untersuchungen (z. B. Kontaktpotentiale), kaum dagegen für praktische Messung von Lichtintensitäten. Auch die Forderung nach geringer Kapazität der Zelle, die bei technischen Anwendungen anderer Art (Klangfilm, schnelle Bildtelegraphie, Fernsehen) wesentlich sein kann, ist bei den von uns ins Auge gefaßten Anwendungen meistens unerheblich.

### 6. Schaltungen.

a) Galvanometrische Messung. Bei großen Lichtströmen und genügend empfindlichen Zellen ist die galvanometrische Messung am bequemsten: Zelle mit Batterie, Sicherheitswiderstand und Galvanometer in Reihe liegend. Der Schutzwiderstand ist bei gasfreien Zellen überflüssig, bei gasgefüllten Zellen danach zu bemessen, daß einerseits Zelle und Galvanometer bei etwa einsetzender Glimmentladung nicht übermäßig beansprucht und zerstört werden, andererseits der Spannungsabfall am Schutzwiderstand bei größeren Strömen keine unzulässigen Fehler verursacht. Da die erste und letzte Vorschrift sich meistens nicht gleichzeitig erfüllen lassen, ist es u. U. vorteilhaft, den Spannungsabfall am Schutzwiderstand mit einzueichen (vgl. auch Abschnitt 6b). Bei Lichtstärken von 100 bis 1000 Lux oder darüber und handelsüblichen gasgefüllten Photozellen kann man mit den empfindlichsten spitzengelagerten Zeigergalvanometern arbeiten, andernfalls werden Spiegelgalvanometer nötig (z. B. Moll, Zernike). Ist bei sehr schwachen Photoströmen galvanometrische Messung wünschens-

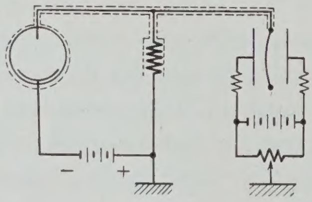



Abb. 8a.

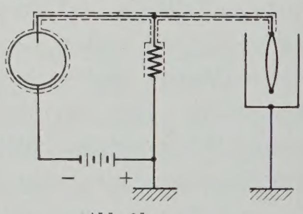



Abb. 8b.

Stationäre Elektrometerschaltung.

wert, so kann man — genügend erschütterungsfreie Galvanometeraufstellung vorausgesetzt — evtl. auch eine der Methoden zur Messung sehr kleiner Ausschläge (Moll-Galvanometer in Verbindung mit den Anordnungen von Moll oder Sewig) verwenden. Allgemein dürften aber in solchen Fällen die unten angegebenen Verfahren vorzuziehen sein. Kompensationsmethoden mit Galvanometer als Nullinstrument können bei großen Strömen am Platz sein, bringen aber bei kleinen Strömen, selbst bei Verwendung des Diesselhorst-Kompensators, infolge vagabundierender Thermokräfte mehr Schaden als Nutzen.

b) Elektrometer. Es sind zwei Verfahren zu unterscheiden (Abb. 8a, b u. 9a, b). Beim ersten durchfließt der Photostrom einen hohen Widerstand. Der über diesem erzeugte Spannungsabfall wird mit (a) Einfadenelektrometer (Wulff-Leybold, Perucca-Leiss, Lutz-Edelmann) oder mit Binanten- oder Quadrantenelektrometer (z. B. Lindemann-Spindler & Hoyer) oder auch (b) mit dem Zweifadenelektrometer (z. B. Wulff-Leybold) gemessen. a erlaubt höhere Empfindlichkeit, da man mit geeigneten Einfadenelektrometern auf $10^{-3}$ V Spannungsempfindlichkeit oder höher kommen kann. Auch bei elektrometrischen Messungen können natürlich Nullmethoden mit Kompensation angewendet werden. Die in Abb. 8 dargestellte stationäre Methode ist nach kleinen Strömen begrenzt durch die Größe und Konstanz der Isolation der Zelle, die jeder Photostrommessung eine untere Grenze setzt, ferner dadurch, daß der Widerstand nicht zu hoch bemessen werden darf. Bei einer geforderten Meßgenauigkeit von 1% darf er höchstens $^1/_{100}$ des Isolationswiderstandes der Zelle werden. Bei sehr guter Isolation und hohen äußeren Widerständen kriecht das Elektrometer, weil die Kapazität (Anode/Faden) durch den Hochohmwiderstand und den bei kleinen Belichtungen sehr hohen inneren Widerstand der Zelle aufgeladen werden muß. Die hier als störend empfundene Aufladezeit bildet die Grundlage der zweiten Elektrometermethode (Abb. 9a, b). Hier wird der lichtelektrische Strom aus der Entlade- (oder

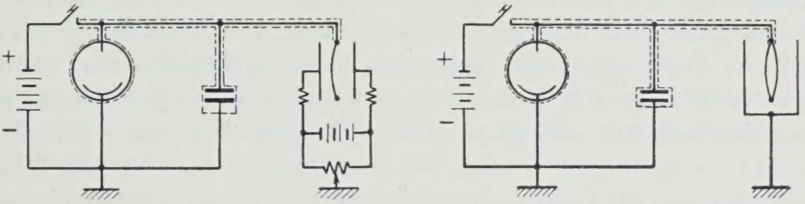



Abb. 9a. Abb. 9b.
Entlademethode mit Elektrometer.

auch Auflade-) Zeit der aus Zelle, Elektrometerfaden und Leitungen bestehenden, gegebenenfalls durch einen parallelgeschalteten Kondensator mit hochisolierten Belegungen vergrößerten Kapazität errechnet. Auch hier sind Einfaden- und Zweifadenelektrometer oder andere Ladungsmesser möglich, bei deren Auswahl weniger auf Empfindlichkeit als auf gute Isolation und Proportionalität der Skala zu achten ist. Nichtstationäre Elektrometermethoden sind u. a. von Guthnick für Sternphotometrie verwendet werden. Von C. Müller (20) ist eine nach der Auflademethode arbeitende, für Photoströme bis zu $10^{-12}$ A bei einer Genauigkeit von 1‰ brauchbare Registrierapparatur beschrieben. Hierbei wird der Faden eines Projektionselektrometers mittels eines Uhrweckverschlusses in Abständen von einigen Sekunden auf einer Registriertrommel photographiert und nach einer bestimmten Anzahl von Aufnahmen die Aufladung durch dasselbe Uhrwerk wieder beseitigt.

Bei allen elektrometrischen Messungen ist darauf zu achten (Kurrelmeyer (18)), daß bei gasgefüllten Zellen Abweichungen von der Proportionalität dadurch vorgetäuscht werden können, daß die beim Fließen des Photostromes am Elektrometer sich ansammelnde Ladung die an der Zelle entstandene Potentialdifferenz verändert, was eine Veränderung des Stromes zur Folge hat. Bei Vakuumzellen gilt dies nur, wenn die Potentialdifferenz bis unter die Sättigungsspannung absinkt.

c) Elektronenröhren. Ein ausgezeichnetes Hilfsmittel zur Messung schwacher Photoströme ist die Hochvakuumröhre mit Glühkathode und einem oder mehreren Gittern. In den meisten Fällen genügt die stationäre Schaltung in Analogie zu der

Elektrometerschaltung der Abb. 8, wobei jedoch der Ableitwiderstand zwischen Gitter und Kathode des Rohres liegt. Um ein empfindliches Galvanometer für den Anodenstrom verwenden zu können, ist der Anodenruhestrom zu kompensieren. So entsteht die als Röhrengalvanometer bekannte Schaltung nach Abb. 10. Lichtelektrische Zelle und Röhre können auch aus derselben Anodenbatterie gespeist werden (Abb. 11). Ihr Hauptvorzug besteht in der Möglichkeit der Verwendung bequemer Zeigermeßinstrumente. Ob die Empfindlichkeit weiter getrieben werden kann als bei den elektrometrischen Methoden, ist bezweifelt worden (Jäger und Kussmann (13)), hängt aber wesentlich von den verwendeten Röhren und Schaltungen ab. An die Röhre sind die Forderungen höchstmöglicher Gitter-Kathode-Isolation und Konstanz der Emission zu stellen. Die letzte Forderung schließt auch Konstanz der Heiz- und Anodenspannungen ein. Zum Abschwächen der unvermeidlichen Batterieschwankungen sind von Wynn-Williams (34), Brentano (5) und Eglin (8) Kunstschaltungen angegeben worden, die zwar etwas subtil zu handhaben sind, sich aber gut bewährt haben. Sie erlauben Stromempfindlichkeiten von $10^{-13}$ A oder noch mehr, Spannungsempfindlichkeiten von $10^{-3}$ V zu erreichen. Bewährt hat sich ferner die von Jaeger und Scheffers (14) angegebene Gleichstrom-Rückkopplungsschaltung. Andere Möglichkeiten scheint noch eine von Meißner und Adelsberger (Bericht über die Tätigkeit der Physikal.-Techn. Reichsanstalt für das Jahr 1928, *diese Zeitschr.* ***29.*** *S. 166. 1929*) entwickelte Schaltung zu bieten, die die kleinen Eingangsspannungen mittels eines rotierenden Kondensators in Wechselspannungen umformt, diese unter Zwischenschaltung abgestimmten Kreise in mehreren Stufen verstärkt, gleichrichtet und galvanometrisch mißt.

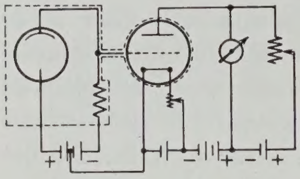


Abb. 10.

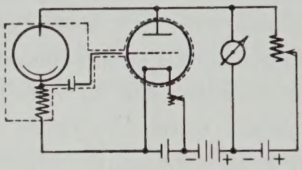


Abb. 11.

Verstärkerschaltungen zur Messung lichtelektrischer Ströme.

Bei einem von Wheeler (33) angegebenen Verfahren werden die Unzuträglichkeiten der Gleichstromverstärkung vermieden durch Modulation des die Zelle treffenden Lichtbündels mittels eines rotierenden Sektors (Frequenz 150 Hertz). Die resultierende Wechselstromkomponente des Photostroms wird in einem dreistufigen Verstärker mit flacher Resonanzkurve auf das $10^8$fache verstärkt, der Ausgangsstrom durch einen mit dem Sektor synchron laufenden Kommutator gleichgerichtet und gemessen mit einem tragbaren Mikroamperemeter, dessen Ausschläge den Photoströmen direkt proportional sind.

Über eine möglicherweise vorteilhafte Verstärkerschaltung unter Benutzung von Gitterströmen haben Mulder und Razek (24) berichtet.

Der Vorteil aller mit Wechselströmen arbeitenden Verstärkermethoden liegt in der weitergehenden Unabhängigkeit von Spannungsschwankungen aller Art und äußeren Störungen.

Ein für technische Zwecke aussichtsreiches Verfahren liegt in der Verbindung der nicht-stationären Entladungsmethode mit der Verstärkerröhre. Sie ist von Strauß (30) ausgearbeitet und unter Verwendung seines „Mekapion" genannten, ursprünglich als Röntgendosimeter gebauten Apparates zu einem hohen Grad von Vollkommenheit entwickelt worden. Die Entladungszeit eines im Gitterkreis der hochisolierten Röhre liegenden Kondensators über die Photozelle wird von einer elektromagnetisch durch ein Relais im Anodenkreis gesteuerten Stoppuhr gemessen.

Als Röhren für direkt arbeitende einstufige Verstärker kommen solche mit reinem oder thoriertem Wolframdraht (Osram T 115, T 113 bzw. Marconi DEV) in Frage, nicht aber Oxydkathodenröhren. Die T 115- und T 113-Röhren enthalten ein Raumladegitter, damit man mit kleinen Anodenspannungen (6 V) arbeiten und Stoßionisation der letzten vorhandenen Gasreste vermeiden kann. Bei Einrohrschaltungen wählt man unter sonst gleichwertigen Röhren solche mit möglichst großer Steilheit, bei Mehrröhrenschaltungen ein Rohr mit möglichst kleinem Durchgriff und hohem Widerstand im Anodenkreis.

d) Andere Methoden. Für Integration der gesamten oder gefilterten Himmelsstrahlung über längere Zeit (z. B. 24 Std.) ist gelegentlich die Verwendung des Silbervoltameters versucht worden.

Auch die Verbindung von Zelle (als veränderlicher Ableitwiderstand) mit Kapazität und Glimmröhre zu einer Generatorschaltung für Schwingungen ist versucht worden. Die Messung erfolgt durch Frequenzbestimmung des Schwingungskreises. Eine ähnliche Anordnung, bei der die (gasgefüllte) Zelle gleichzeitig als Glimmstrecke dient, wird von der General Electric Co. (vgl. Walker (32)) für technische Zwecke (Anzeigen von Licht oder Rauch) benutzt.

e) Technisches. Jede Messung lichtelektrischer, besonders kleiner Ströme setzt gewisse technische Vorsichtsmaßregeln voraus. Gut isolierte Zellen angenommen, bleiben zunächst alle Kriechströme bewirkenden Ableitungen zwischen den Elektroden an der Zelle und in der Schaltung zu verhindern. Wärmebehandlung zur Entfernung von Wasserhäuten verbietet sich in der Regel wegen der empfindlichen Alkalikathoden. Sorgfältige Reinigung der Zellenoberfläche und Trocknung der die Zelle, Verbindungsleitung und Elektrometer bzw. Röhre umgebenden Behälter mit Na-Metall oder Phosphorpentoxyd genügt meistens. Als Isolator kommt nur Bernstein, höchstens noch Schwefel oder Quarz in Frage. Zur Vermeidung von elektrostatischen (oder magnetisch induzierten) Störungen umgibt man die betreffenden nicht mit der Erde in Verbindung stehenden Teile der Schaltung, die z. B. in den Abb. 8 und 9 mit Stricheln umrandet sind, mit einem gut von den Leitungen selbst isolierten, geerdeten Metallrohr oder schlauch.

## 7. Anwendungen.

Alle Anwendungen der Zellen für Meßzwecke kommen auf eine Verbindung einer der in Abschnitt 6 beschriebenen Schaltungen mit einer optischen Anordnung heraus, bei welcher sonst ein anderer Indikator (Thermosäule, Bolometer) oder besonders das Auge des Beobachters die Stelle der lichtelektrischen Zelle einnehmen würde. Wie stets, kann die Zelle vermöge der Proportionalität von Intensität und Photostrom als Ausschlagsinstrument oder in Verbindung mit einer Lichtschwächungsvorrichtung (Photometerkeil, Nicol, rotierender Sektor) als Vergleichs- bzw. Nullinstrument dienen.

a) Photometrie mit unzerlegtem Licht. Für Messungen der Lichtstärke von Lichtquellen in technischen Einheiten (Hefnerkerze, Internationale Kerze), des Lichtstromes (Lumen), der Leuchtdichte (Hefnerkerze pro cm$^2$) oder der Beleuchtung (Lux) kommen Zellen in Frage, deren spektrale Empfindlichkeitsverteilung der des menschlichen Auges möglichst ähnlich ist (Caesiumzellen, vgl. Abschnitt 2) und denen gegebenenfalls zwecks weiterer Näherung noch geeignete Farbfilter vorgeschaltet werden. Für technische Glühlampenphotometrie hat die lichtelektrische Methode der „objektiven Photometrie" bereits recht gute Erfolge gehabt, wobei wir allerdings ihre Hauptvorteile zur Zeit noch weniger in höherer Genauigkeit gegenüber der visuellen Methode, als in der Unabhängigkeit von persönlichen Fehlern des Beobachters und dessen Ermüdung, ferner in größerer Arbeitsgeschwindigkeit sehen. Es besteht aber durchaus die Mög-

lichkeit, daß auch für Anschlußmessungen und Eichung von Gebrauchsnormalen in absehbarer Zeit die visuellen Methoden durch die lichtelektrische Methode ersetzt werden können.

Die Arbeiten von Guthnick und Prager über das lichtelektrische Sternphotometer haben an und jenseits der Grenze der Möglichkeiten der visuellen Photometrie Helligkeitsmessungen und (unter Verwendung von Farbgläsern) Gruppierung nach Spektralklsssen ermöglicht. Lord Rayleigh hat mit der lichtelektrischen Zelle Helligkeitsmessungen am Nachthimmel vorgenommen, wobei auch durch Filterung gewisse Spektralgebiete ausgesondert wurden.

b) Spektralphotometrie, Kalorimetrie. Methoden zur direkten lichtelektrischen Spektralphotometrie sind bisher relativ wenig bekannt geworden. Sharp (29) hat über spektralphotometrische Anordnungen mit Zelle und Verstärkerröhre berichtet und sieht deren Hauptvorteil in Vergrößerung der Genauigkeit und Verkürzung der Meßdauer. Von Razek und Mulder (24) liegt eine vorläufige Veröffentlichung über ein Spektralphotometer unter Benutzung der Röhrenschaltung von Wynn-Williams vor, mit welchem Intensitätsverteilung von Lichtbogen und von der an opaken Objekten reflektierten Strahlung gemessen wurde. — A. C. Hardy (12) hat eine Registierapparatur für spektralphotometrische Farbenanalyse angegeben, bei der die Zelle als Nullinstrument dient. Obgleich die beschriebene Apparatur reichlich verwickelt erscheint, soll sie sich praktisch bewährt haben. Die Aufnahme eines vollständigen Reflexionsspektrums mit einer für alle kalorimetrischen Zwecke ausreichenden Genauigkeit dauert 30 Sekunden. Einfachere Reflexionsmessungen hat Orcel (21) mit der Photozelle an undurchsichtigen Mineralien ausgeführt. Ähnliche Apparaturen hat auch Gheorghiu (10) zur Photometrie schwankender Lichtquellen (Bogen) und zur Verifizierung des Beerschen Gesetzes benutzt.

Ein Sondergebiet spektralphotometrischer Messungen bietet das Ultraviolett, wo meistens die Cadmiumzelle, neuerdings auch die Lithiumzelle, mit oder ohne Filter, in Elektrometerschaltungen benutzt wird (vgl. Rüttenauer (26, 27)).

Besonders aussichtsreich erscheinen weiterhin lichtelektrische Methoden für Feinstrukturuntersuchungen, wobei der Gang der spektralen Empfindlichkeit der Zelle vernachlässigt werden kann. Für Intensitätsvergleichungen über größere Wellenlängenintervalle sind dagegen wohl die seit Dorgelo u. a. beliebt gewordenen Methoden der photographischen Spektralphotometrie aussichtsreicher. Ein weiteres spektroskopisches Anwendungsgebiet wäre die direkte Ausmessung der Intensitätsverteilung von Interferenzfiguren (Lummer-Gehrcke-Platte, Pérot-Fabry, oder Michelson), bei welchen die Auflösung der Apparatur nicht durch das Korn der photographischen Platte beschränkt wird.

c) Absorptions- und Schwärzungsmessung. Für Absorptionsmessungen im spektral zerlegten Licht ist die Photozelle das gegebene Meßinstrument, obgleich sie auch hier noch nicht so viel benutzt wird wie sie verdient. Letzthin sind von C. Müller mit der oben (s. Abschnitt 6b) beschriebenen Apparatur Absorptionsmessungen an seinen dünnen Folien im Ultraviolett mit der Gehrcke-Lauschen Wasserstoffentladungsröhre als Lichtquelle vorgenommen. Im *Bureau of Standards* werden auf diese Weise laufend Untersuchungen an Filtern angestellt.

Ein spezieller Fall von Absorptionsmessung liegt bei der Densitometrie (Schwärzungsmessung photographischer Platten) vor. Das lichtelektrische Photometer ist, aufbauend auf den Arbeiten von P. P. Koch (17) und F. Goos (11) im Laufe der Zeit zu einem Meßinstrument höchster Präzision ausgestattet worden. Es wird als Registrier-

instrument von Carl Zeiss und nach Angaben von Goos, jetzt in verbesserter Ausführung, von A. Krüss in Hamburg hergestellt. Ein besonders für astronomische Zwecke geeignetes und mit Kreuztisch ausgerüstetes lichtelektrisches Densitometer bauen nach Angaben von Rosenberg (25) die Askaniawerke A. G. Bambergwerk in Berlin-Friedenau.

d) Polarimetrie, Drehung und Doppelbrechung, Kristalloptik. Todesco (31) hat eine lichtelektrische Methode zur Ermittlung geringer Doppelbrechungen angegeben, die noch Phasenverschiebungen von $2{,}5 \cdot 10^{-6}\,\lambda$ festzustellen erlaubt. Eine ähnliche Methode hat er in einer späteren Arbeit zur Messung minimaler Drehungen der Polarisationsebene des Lichtes angewendet und durch Versuche am Toluol gezeigt, daß man noch Drehungen bis zur Größenordnung einer Bogensekunde nachweisen kann.

Anwendungsmöglichkeiten dieser Methoden liegen auf der Hand: Drehung der Polarisationsebene bei geringen Konzentrationen der optisch aktiven Komponente (maßanalytische Methoden), Drehung im Magnetfeld, Kerr-Effekt bei Substanzen mit geringer elektrooptischer Doppelbrechung u. a.

Leroux (19) hat lichtelektrische Absorptionsmessungen bei Untersuchungen über den Pleochroismus des Turmalins durchgeführt.

e) Indirekte Methoden. Wir haben uns bisher an die in Abschnitt 1 getroffene Beschränkung auf Intensitätsmessungen gehalten, wollen aber abschließend, der Vollständigkeit halber, wenigstens auf einige für die lichtelektrische Zelle geeignete Messungen anderer Art hinweisen.

Messung von Längen, Längen- und Volumänderungen, Verschiebungen durch ein mit dem betreffenden Meßkörper verbundenes Organ (Raster, Spiegel, Blende), welches die auf die Zelle fallende Lichtintensität ändert (vgl. Cristescu (7)).

Aufzeichnung mechanischer (akustischer) Schwingungen auf ähnliche Weise durch Zelle, Verstärker und Oszillograph. Auch Kurvenanalysen mechanisch schwingender Systeme.

Zeitmessung sehr schnell verlaufender Vorgänge durch Zelle in Verbindung mit ballistischem Galvanometer.

Schon die wenigen angegebenen Beispiele können vielleicht überzeugen. daß die Verwendung der lichtelektrischen Zelle als Meßinstrument, heute noch in den ersten Anfängen stehend, eine bedeutende Erweiterung, Verfeinerung und Erleichterung der physikalischen und technischen Meßmethoden verspricht.

## 8. Literatur.

NB. Da im Rahmen eines kurzen Sammelreferates Vollständigkeit nicht angestrebt werden konnte, beschränken wir uns auf Nennung der wichtigsten neueren Arbeiten auf die Gefahr hin, Prioritäten nicht immer sorgfältig zu berücksichtigen. Daneben wird auf die einschlägigen Sammelwerke verwiesen.

1. W. Hallwachs, Lichtelektrizität. Marx, Handb. d. Radiologie. Leipzig.
2. P. Lenard und A. Becker, Lichtelektrische Wirkung. Wien-Harms, Handb. d. Experimentalphysik Bd. 23, 2. Teil. Leipzig 1928.
3. B. Gudden, Lichtelektrische Erscheinungen. Geiger-Scheel, Handbuch der Physik Bd. XIII, *S. 103—154.*
4. B. Gudden, Lichtelektrische Erscheinungen. Berlin 1928.
5. J. Brentano, *Phil. Mag.* **7.** *S. 685—691. 1929.*
6. N. R. Campbell, *Phil. Mag.* **6.** *S. 633—648. 1928.*
7. G. P. D. Cristescu, *Physikal. Zeitschr.* **30.** *S. 24—27. 1929.*
8. J. M. Eglin, *Phys. Rev.* **33.** *S. 113—114. 1929.*
9. R. Fleischer und H. Goldschmidt, *Physikal. Zeitschr.* **29.** *S. 691—698; S. 736. 1928.*

10. T. Gheorghiu, *Journ. de Phys. et le Rad.* **10.** *S. 119—120. 1929; Compt. Rend.* **188.** *S. 1609. 1929.*
11. F. Goos, *diese Zeitschr.* **41.** *S. 313. 1921.*
12. A. C. Hardy, *Journ. Opt. Soc. Amer.* **18.** *S. 96—117. 1929.*
13. R. Jaeger und A. Kußmann, *Physikal. Zeitschr.* **28.** *S. 645. 1927.*
14. R. Jaeger und W. Scheffers, *Wiss. Abh. d. Siemens-Konzern. 1925.*
15. O. Kestner. *Strahlentherapie* **30.** *S. 395—396. 1928.*
16. L. R. Koller, *Gen. Electr. Rev.* **31.** *S. 373—375. 1928; Journ. Opt. Soc. Amer.* **19.** *S. 135—145. 1929.*
17. P. P. Koch, *Ann. d. Phys.* **39.** *S. 705. 1912.*
18. B. Kurrelmeyer, *Journ. Opt. Soc. Amer.* **16.** *S. 92—93. 1928.*
19. P. Leroux, *Compt. Rend.* **185.** *S. 1456—1458. 1927.*
20. C. Müller. *Zeitschr. f. techn. Phys.* **9.** *S. 445—451. 1928.*
21. J. Orcel, *Compt. Rend.* **185.** *S. 1141—1143. 1927.*
22. W. B. Nottingham, *Phys. Rev.* **33.** *S. 633—634. 1929.*
23. Lord Rayleigh, *Proc. Roy. Soc.* **134.** *S. 395—408. 1929.*
24. J. Razek und P. J. Mulder, *Phys. Rev.* **33.** *S. 284—285. 1929.*
25. H. Rosenberg, *diese Zeitschr.* **45.** *S. 313—333. 1925.*
26. A. Rüttenauer, *Strahlentherapie* **30.** *S. 579—593. 1928.*
27. A. Rüttenauer, *Licht und Lampe* **17.** *1928. Nr. 17;* **18.** *1929. Nr. 5.*
28. E. F. Seiler, *Astrophys. Journ.* **52.** *S. 129. 1920.*
29. C. H. Sharp, *Journ. Opt. Soc. Amer.* **13.** *S. 303—304. 1929.*
30. S. Strauß, *Z. d. V. d. Jng.* **73.** *S. 1014. 1929; Elektrot. u. Maschinenb. Heft 46, 1928; S. 348. 1926; Strahlentherapie* **28.** *S. 205—210. 1928;* **31.** *S. 401—414. 1929.*
31. G. Todesco, *Lincei Rend.* **5.** *März 1928; Cimento (N. S.)* **5.** *S. 376—390. 1928.*
32. R. C. Walker, *Journ. Scient. Instr.* **6.** *S. 322. 1929.*
33. H. A. Wheeler, *Phys. Rev.* **33.** *S. 114. 1929.*
34. Wynn-Williams, *Proc. Cambr. Phil. Soc.* **23.** *S. 810. 1927.*
35. V. Zworykin und E. D. Wilson, *Phys. Rev.* **33.** *S. 633. 1929; Journ. Opt. Soc. Amer.* **19.** *S. 81 bis 89. 1929.*

## Bücherbesprechungen.

**P. Wilski,** Lehrbuch der Markscheidekunde, I. Teil. 8⁰. VIII, 252 S. m. 131 Textabb., einer mehrfarbigen u. 27 schwarzen Taf. Julius Springer, Berlin 1929. Geb. 26 RM.

Abgesehen von der für Bergschüler geschriebenen Markscheidekunde Mintrops ist in den letzten 21 Jahren keine deutschsprachige Markscheidekunde erschienen. Der seitdem eingetretene vollständige Mangel eines Lehrbuches der Markscheidekunde einerseits, der gewaltige Fortschritt auch in diesem Teile der Vermessungswissenschaften anderseits machen es begreiflich, daß der I. Band Wilskis Markscheidekunde von der Fachwelt mit lebhafter Aufmerksamkeit aufgenommen wurde.

Der erschienene erste Band unterscheidet sich ob der eigentümlichen Behandlungsweise von den bisher erschienenen Markscheidekunden grundsätzlich und trägt wegen der vielen eigenen Betrachtungen und Bemerkungen das persönliche Gepräge des Verfassers. Mit dieser Eigenschaft des Buches mag auch zusammenhängen, daß es vielleicht etwas weniger systematisch erscheint, als Lehrbücher im allgemeinen, indem der Verfasser die einzelnen Abschnitte verschieden ausführlich behandelt. Bei der umfangreichen Untersuchung des geometrischen Nivellements ist z. B. die Schachttiefenmessung sehr kurz behandelt, wobei auch die mittelbare Tiefenmessung Erwähnung verdient hätte, ebenso bei der Steilschachtvermessung die damit häufig verbundene Höhenübertragung.

Wir können uns trotz der in der Einleitung gegebenen Erklärung des Eindruckes nicht erwehren, daß das Buch nicht so sehr für Anfänger, sondern viel eher für solche besonders brauchbar ist, die die Geräte und ihre Handhabung bereits kennen und nun die wissenschaftlichen Grundlagen, kritische Untersuchungen und Gegenüberstellungen, sowie Weiterentwicklungen suchen. Darauf deutet hin, daß Wilski die Beschreibung der Instrumente ziemlich kurz behandelt, indem er —

/ie im Vorwort auch betont wird — die persönliche Einführung in die Handhabung der Instrumente ür notwendig hält und ihre Benützung daher als bekannt voraussetzt, um in den darauffolgenden ;rörterungen in den wichtigen Fragen tief in die Einzelheiten hineinzudringen. Als beredtes Beispiel ierfür kann der Abschnitt über die Ablesevorichtungen angeführt werden. Gerade durch diese, um großen Teil selbst geleistete Arbeit hat sich Wilski ein wesentliches Verdienst um die Mark-:heidekunde erworben und sein Buch sei für jeden mit der Markscheidekunde sich nicht hand-'erksmäßig beschäftigenden bestens empfohlen. Aber auch der Geodät wird darin wichtige Er-rterungen finden, so z. B. recht ausführliche über die Linsentheorie, über die Polygonzüge und anz besonders über das geometrische Nivellement. Wertvolle Anregungen enthält das Buch auch ir die Instrumentenerzeuger, so, um nur einige zu nennen, die empfohlenen größeren Austritts-upillen für Grubentheodolite, oder die Anbringung einer kleinen Skala am Theodolitfernrohr zur rmittlung der Exzentrizität der Aufstellung. Eine solche Skala kann bei Vermessungen mit ver-ıarkten Firstpunkten und kurzen Seitenlängen besonders wertvolle Dienste leisten und verdient :denfalls, beachtet zu werden.

Der Abschnitt „Die Hornochschen Aufgaben“ berührt den Rezensenten insofern, als er :inen Namen trägt. Da Renzensent in seinen Arbeiten nur einen Teil dieser Aufgaben selbst auf-:stellt hatte, vielen, schon lange bekannten nur andere Lösungen gab, meint er, daß der Abschnitt elleicht nicht ganz rechtmäßig seinen Namen führt. Bezüglich der letzten angeführten, von G. Beer ammenden Aufgabe sei noch bemerkt, daß diese als eigene Aufgabe insofern entbehrlich wäre, ı sie in der Aufgabe der Durchstoßpunktsbestimmung einer Geraden mit einer Ebene bereits mit-ıthalten ist.

Zusammenfassend können wir sagen, daß das Buch eine auf breiter Basis fußende, leicht :rständliche, gründliche Arbeit darstellt, die nicht nur den Studierenden und Praktikern, sondern ›gar den Lehrern der Markscheidekunde viel neues zu sagen hat. Durch seine ausführlichen histori-hen Notizen kann es gleichzeitig geradezu als eine kulturhistorische Quelle des Markscheidewesens :nützt werden. Nach dem vorliegenden ist man berechtigt, den zweiten Band erst recht mit höhter Aufmerksamkeit zu erwarten, um so eher, da auf dem noch zu behandelnden wichtigen :biet der Orientierungsmessungen Wilskis Verdienste doch allgemein bekannt sind.

*Hornoch.*

***he National Physical Laboratory, Report for the year 1928.*** 4⁰. VI, 283 S. m. 59 Abb. H. M. Stat. Off., London 1929. Geh. 9 s.

Aus dem interessanten Jahresbericht des *National Physical Laboratory* in Teddington sollen er besonders die Arbeiten auf dem Gebiet der Strichmaß- und Endmaßmessung besprochen werden.

1. Beziehung zwischen dem englischen Yardsystem und dem metrischen Maßsystem.

Nach den neusten Messungen von Sears, Johnson und Jolly (*Phil. Trans. Roy. Soc.* **227.** *S. 281. 1928*) ist die Beziehung zwischen dem englischen Yardsystem und dem metrischen aßsystem durch die Gleichung

$$1\ \mathit{inch} = 25{,}399956\ \mathrm{mm}$$

geben.

In Übereinstimmung mit dem *National Physical Laboratory* legt die Physikalisch-Technische :ichsanstalt Abt. I für Maß und Gewicht den Feinmessungen von englischen Zollmaßen diese :ziehung zugrunde (Mitt. d. P. T. R. Abt. I f. M. u. G. 11. Reihe Nr. 15, S. 255). Die Abweichung von r gesetzlichen Beziehung

$$1\ \mathit{inch} = 25{,}399978\ \mathrm{mm}$$

trägt 0,87 $\mu$ für das Meter.

2. Bestimmung des Ausdehnungskoeffizienten von Marmorzylindern in verschiedenen Rich-ngen.

Der Ausdehnungskoeffizient von 4 Marmorzylindern wurde in axialer Richtung und in 3 unter $^{0}$ geneigten Richtungen des Querschnittes bestimmt. Für jeden Zylinder sind die Werte in den ıerschnittsrichtungen höher ($3{,}8 \cdot 10^{-6}$ bis $7{,}4 \cdot 10^{-6}$ für $1^{0}$ C) als der Wert in der axialen Richtung $9 \cdot 10^{-6}$ bis $3{,}6 \cdot 10^{-6}$). Die Verschiedenheit der Ausdehnungskoeffizienten in den verschiedenen chtungen ergibt, daß der Marmor eine gewisse Richtungsorientierung zeigt.

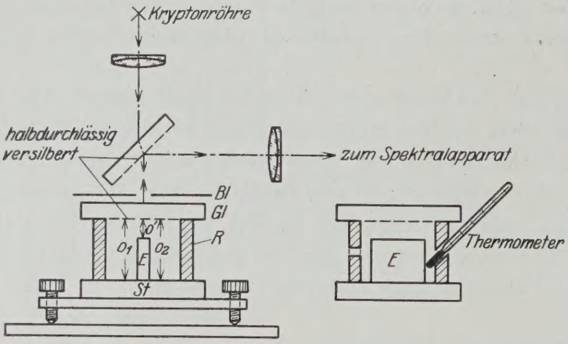
3. Internationale Untersuchung von vier 24 m-Invardrähten.

In Ausführung eines Beschlusses der 7. Generalkonferenz für Maß und Gewicht im Jahre 191 sind vier 24 m-Invardrähte (Jaederindrähte) von dem Internationalen Büro für Maß und Gewich in Sèvres und vom *National Physical Laboratory* gemessen worden. Die englischen Werte sind ir Durchschnitt um 47 $\mu$ größer als die des Internationalen Büros. Die Drähte, die zur Zeit in de P. T. R. Abt. I für Maß und Gewicht gemessen werden, sollen auch in Washington, Stockholm un Ottawa geprüft werden.

4. Temperungsverfahren.

Dem im folgenden angegebenen Temperungsverfahren wurden ein 6 Jahre lang kontrollierte inkonstantes 4 inch-Stahlendmaß und ein 3 Jahre lang kontrolliertes, konstantes 4 inch-Stahl endmaß unterworfen. Die Messungen dieser Maße in zwei darauf folgenden Jahren zeigten, da das inkonstante Maß konstant wurde und das konstante Maß konstant blieb, nachdem die beide Maße 1 Stunde auf 95° C, 1 Stunde auf 130° C und in Perioden von je 1, $2^1/_2$, 2, 1, $2^1/_2$, $2^1/_2$, und 24 Stunden auf 150° C erhitzt worden waren. Nach jeder einzelnen Erhitzung hatten di Maße eine Verlängerung gezeigt.

5. Interferometrische Ausmessung von Endmaßen. Zur interferometrischen Ausmessung vo Endmaßen bis zu 2″ wurde die in der Abbildung skizzierte Anordnung angewandt. Das Endma *E* und eine planparallele stählerne Röhr *R* sind auf eine ebene Stahlplatte *S* aufgeschoben. Auf die andere Endfläch der Röhre *R* ist eine ebene halbdurch lässig versilberte Glasplatte *Gl* au geschoben. Die Silberschicht der Glas platte bildet mit der Stahlplatte un mit der Oberfläche des Endmaßes j einen Fabry-Perot-Etalon.




Die Länge des Endmaßes ist:

$$E = {}^1/_2\,(O_1 + O_2) - O'.$$

Durch die verschiebbare Blend *Bl* läßt sich jede Größe für sich ausblenden und mittels der Haidinger-Ringe ausmessen.

Zur Bestimmung wurden die Kryptonlinien 5871, 5570, 4274 und bisweilen 4320 verwendet

Da die sehr lichtstarke grüne Linie 5570 fünf Trabanten besitzt und sich in ihrer unmittelbare Nähe zwei weitere Kryptonlinien befinden, so wird diese Linie von der P. T. R. Abt. I. (s. Tätigkeits bericht der P. T. R. für 1928, *diese Zeitschrift* ***48.*** *S. 172. 1929*) nicht zu interferometrischen Messunge verwendet. Als Hauptnormale wird die gelbgrüne Linie 5650 verwendet, die zwar lichtschwac ist, aber nach den bisherigen Untersuchungen keine Feinstruktur besitzt und mittels des Kösters schen Interferenzkomparators die Ausmessung eines 8 Zoll-Endmaßes gestattet. Die als Hilfsnormal verwandte gelbe Linie 5871 besitzt ebenfalls zwei dicht bei der Hauptlinie liegende Trabanten mi geringer Intensität. Der Köstersche Interferenzkomparator wird im englischen Laboratoriun einer eingehenden Prüfung unterzogen.

Nach der oben beschriebenen Methode und nach einer mechanischen Methode (direkte Ab leitung vom *Imperial Standard Yard*) unter Anwendung der Beziehung

$$1\ \mathit{inch} = 25{,}399956\ \mathrm{mm}$$

wurden zwei 1 *inch*-Endmaße vom *Bureau of Standards* einzeln und in Kombination geprüft Zwischen beiden Methoden ergibt sich eine außerordentlich gute Übereinstimmung (größte Ab weichung 0,014 $\mu$).

Die beiden 1-*inch*-Endmaße gehörten zu einem Satz von 4 gleichen 1 *inch*-Endmaßen, vo denen die beiden anderen vom *Bureau International* und von der P. T. R. Abt. I. geprüft wurden Nach einem Bericht des *Bureau of Standards* ist die größte Abweichung einer Bestimmung vom Mittelwert der 10 Bestimmungen, die von den 4 Laboratorien ausgeführt wurden, 0,034 $\mu$ und di mittlere Abweichung 0,018 $\mu$.

6. Anschluß des Meters an Lichtwellenlängen.

Die Vorarbeiten für den Anschluß des Meters an Lichtwellenlängen, der anscheinend nach ler Methode von *Fabry-Perot* vorgenommen werden soll, sind im Berichtsjahr fortgeschritten. Als Zwischenetalons werden Invaretalons (Röhren) verwendet, die mit einer festen Chromschicht in der Veise überzogen sind, daß auf den Invaroberflächen zuerst eine Kupferschicht, darauf eine Nickelchicht und dann erst die Chromschicht niedergeschlagen wird. Die Länge dieser Invaretalons wird nit Invarendmaßen, die mit fest eingeschraubten planparallelen Stahlendflächen versehen sind, controlliert. Um die Temperatur des Wellenlängennormals, eines etwa 1 m langen Stahlendmaßes, nit der Genauigkeit von einigen Tausendstel Grad bestimmen zu können, ist das Endmaß mit dem Widerstandsthermometer umwickelt. Mit Hilfe des Normalplatinthermometers wurde das Widertandsthermometer geeicht. In erster Linie sollen die Cadmiumwellenlängen (Cadmiumlampen nach *Michelson* und *Hamy*) zum Meteranschluß verwendet werden. *Lampe.*

**Verner Skirl,** Wechselstrom-Leistungsmessungen. Dritte, vollst. umgearb. u. erweit. Aufl. 8°. VII, 278 S. mit 247 zum größten Teil auf Tafeln angeordneten Bildern. Julius Springer, Berlin 1930. Geb. RM. 14,—.

Seit dem Jahre 1920 erscheint dieses Buch nun bereits zum dritten Male in wiederum neuearbeiteter und vielfach ergänzter Form. In der vorliegenden Auflage ist der Stoff nach allgemein ültigen Gesichtspunkten neu aufgebaut und gegliedert worden. Außer den Kapiteln Allgemeine Betrachtungen über die Meßgenauigkeit, Meßwerke der Leistungsmesser, Schaltung der Leistungsnesser, Berechnung der Konstanten ist den Meßgeräten zum Bestimmen von Nebenumständen bei ler Leistungsmessung ein besonderer Abschnitt gewidmet. Gegenüber der alten Auflage ist neu inzugefügt ein Kapitel über den Richtungssinn der Leistung und die Polung der Leistungsmesser. Der Abschnitt über Meßwandler für indirekte Leistungsmessungen ist wesentlich erweitert und unter Berücksichtigung der neuesten Bauformen entwicklungsgemäß dargestellt. Eingehend sind die Fehler ler Wandler und ihre Korrektion behandelt. Nach den allgemeinen Gesichtspunkten für die Ausührung der Messungen von Scheinleistung, Wirkleistung und Blindleistung, die in getrennten Abchnitten an Hand von Diagrammen und Kurven entwickelt werden, werden Schaltregeln, Meßchaltungen und Meßmethoden mit allen Besonderheiten der Drehstromschaltungen beschrieben. Ein letzter Abschnitt ist den Wechselstromeichschaltungen gewidmet. Leider hat sich der Verfasser n der Hauptsache nur auf Siemens-Apparate beschränkt und prinzipiell neue Apparate wie z. B. Thermowattmeter nicht berücksichtigt. Eine ganze Reihe neu hinzugefügter Schwarz-Weiß-Bilder rleichtern das Verständnis. Die technische Ausführung des Buches ist in der bei Springer gewohnten Weise einwandfrei sauber und gut. Das Buch ist auch dem bereits mit Leistungsmessungen ertrauten Elektrotechniker zu empfehlen. *Pfestorf.*

**Paul Schrott,** Praktische Optik; die Gesetze der Linsen und ihre Verwendung. Kl. 8°. V, 135 S. mit 115 Textabb. Julius Springer, Wien 1930. RM. 7,—.

Dem Vorwort des Verf. sei zur Kennzeichnung des Buches folgendes entnommen: „Das vorliegende Buch ist als Ratgeber für alle jene gedacht, welche sich mit praktischen optischen Aufaben zu befassen haben. Es sind dies die Photographen, besonders der Kameramann der Kineatographie und der Laufbildvorführer... Da durchaus die Aufgaben der Praxis berücksichtigt ind, dürfte es auch für einen weiteren Leserkreis von Liebhaberphotographen, für Lehrer und für en Unterricht an Schulen geeignet erscheinen."

Einleitend werden die Grundgesetze und Definitionen der Photometrie und die wichtigsten Daten aus der Lichttechnik behandelt. Hierbei fällt, wie auch in späteren Kapiteln, angenehm uf, daß die Entwicklungen ohne Voraussetzungen mathematischer Kenntnisse rein konstruktiv ınd anschaulich geboten werden. Die technischen Zeichnungen sind geradezu vorbildlich, sowohl insichtlich Anlage als auch Ausführung. Photometrie und Lichttechnik sind Gebiete, welche zwar n jüngerer Zeit besondere Beachtung finden, aber doch noch in Praktikerkreisen zum Teil ungenügend beherrscht werden. Typische Fehlanschauungen werden vom Verf. rücksichtslos bloßgestellt ınd richtiger Betrachtung zugeführt.

Es folgt ein Kapitel über Optik, wo die Grundgesetze des Strahlenganges behandelt werden. Beispiele praktischer Art beleben den an sich trockenen Stoff, und machen zugleich mit den einfachsten Konstruktionselementen optischer Instrumente bekannt. Hervorzuheben ist besonders die Darstellung der Strahlenbegrenzungslehre, wo die Bedeutung der Pupillen und Luken gewürdigt wird. Dem Praktiker dürften erstmalig in diesem Buch Aufgaben und Arbeitsweisen der Blenden anschaulich klar werden.

Das Auge als wichtigstes Sehwerkzeug wird nicht vergessen, aber nur so weit behandelt, als es für die praktische Anwendung der Optik in Betracht kommt, d. h. hinsichtlich solcher Fragen wie Akkommodation, Sehschärfe und als Grundlage hierzu auch hinsichtlich der Anatomie.

Der Abschnitt über die optischen Geräte behandelt in denkbar einfacher, aber doch strenger Weise die subjektiven Systeme (Lupe, Mikroskop, Fernrohr) unter besonderer Berücksichtigung des Einstellfernrohres des Kinooperateurs, und die objektiven Systeme (photographischen Objektive). Von beiden Gruppen wird die letztere dem eingangs angeführten Zweck entsprechend ausführlicher behandelt. Beachtenswert sind hier die Ausführungen über Tiefenschärfe, Perspektive und Helligkeit. Dem gleichen Kapitel eingegliedert sind: die Sucher, Projektionsobjektive und Linsenkondensoren.

Dankbar begrüßen wird mancher Praktiker die Beschreibung der Linsenfehler und der Methoden, solche zu korrigieren. Natürlich ist dieses Kapitel nicht vollständig, aber doch ausführlicher und anschaulicher als in bekannten Leitfäden der Optik. Der Zusammenhang des Aplanatismus mit der Hauptebenen-Krümmung fällt auf, und als notwendige Folgerung die Tatsache, daß ein korrigiertes optisches System höchstens das maximale Öffnungsverhältnis $f:\frac{1}{2}$ hat. Unter den Linsenfehlern werden auch Spiegelflecke (Reflexbilder) betrachtet. Durchbiegen, Verkitten und Abstandsänderungen als Korrektionsmittel werden gebührend erwähnt.

Sehr ausführlich wird die praktische Prüfung der photographischen und Projektionsobjektive sowohl äußerlich als auch hinsichtlich der Schlieren und des Korrektionszustandes behandelt. Gerade dieses Kapitel dürfte berufen sein, das vorliegende Buch als etwas vollkommen Neuartiges in der optischen Literatur und somit besonders Wertvolles erscheinen zu lassen.

Ein weiteres Kapitel ist der Beschreibung der wichtigsten photographischen Objektivtypen gewidmet. Das Petzval-Objektiv findet als Projektionsobjektiv eingehendere Beachtung. Auch die Weichzeichner sind ausführlicher dargestellt.

Schließlich wird die Strahlengangslehre beim Bildwurf, sowohl in Dia- wie in Epi-Beleuchtung, mit großer Gewissenhaftigkeit behandelt. Das Zusammenwirken von Spiegel und Linsen wird klar herausgearbeitet. Das Gleiche gilt von der Brennweitenwahl der Objektive, der Ausdehnung der Lichtquelle und dem Helligkeitsverhältnis der Epi- gegen die Diaprojektion. Die Warnung, Epiprojektion nicht mit Diaprojektion wechseln zu lassen, um die Epiprojektion aus Helligkeitsgründen nicht unansehnlich erscheinen zu lassen, dürfte allerdings inzwischen überholt sein, seit es Hochleistungs-Epidiaskope mit Polyeder-Spiegel gibt.

Den Wünschen mancher Leser auf mathematische Unterstützung wird ein kurzer Anhang über einige Grundgesetze der Geometrie gerecht. *Flügge.*

**A. Thomälen.** Kurzes Lehrbuch der Elektrotechnik. 10., stark umgearbeitete Auflage. 8⁰. VIII, 359 S. m. 581 Textbildern. Julius Springer, Berlin 1929. Geb. RM 14,50.

Das bekannte Lehrbuch hat in seiner vorliegenden zehnten Auflage wesentliche und wertvolle Ergänzungen erfahren. So ist es beispielsweise außerordentlich zu begrüßen, daß auf die Wirkungsweise des Doppelkäfigankermotors, der in neuerer Zeit so sehr an Bedeutung gewonnen hat, sowie auf die kompensierten Motoren näher eingegangen wird. Weitere wichtige Ergänzungen sind, um nur einige noch zu nennen, die Beiträge zur Behandlung der unsymmetrischen Drehstromsysteme, des Kippen des Netzes, der Nullpunktserdung, die Abschnitte über die Berechnung von Streuung, Sättigung und Unsymmetrie beim Transformator sowie der Bruchlochwicklungen und der Kurvenform, des Querfeldes und des Kurzschlußstromes bei Synchronmaschinen. Ein neues Kapitel über Aufbau und Wirkungsweise der Quecksilbergleichrichter erfaßt auch dieses wichtige Spezialgebiet im Rahmen des Werkes. Die für Behandlung von Wechselstromaufgaben neben den planimetrischen und trigonometrischen Ableitungen bevorzugte vektorielle Darstellung und Rechnung

bewährt sich besonders bei den schwierigeren Problemen der Induktionsmotoren. Aus diesem Grunde ist auch auf die komplexe Rechnung sowie auf die Ortskurven der graphischen Wechselstromtechnik mit großer Sorgfalt eingegangen. Es sei besonders erwähnt, daß noch mehr als in den früheren Auflagen grundsätzlich nur mit einem einzigen Maßsystem gearbeitet wird, als daß das auf den gesetzlichen Grundeinheiten Zentimeter, Sekunde, Ampere und Ohm aufgebaute praktische Maßsystem gewählt ist. *Lh.*

**L. Schrutka,** Edler von Rechtenstein. Theorie und Praxis des logarithmischen Rechenschiebers. Zweite Auflage. 8°. 103 S. Franz Deuticke, Leipzig und Wien. 1929. Geh. RM 4,—.

Das Heftchen stellt eine Anleitung zum Gebrauch des Rechenschiebers vor; es enthält alles, was hierzu vom theoretischen und praktischen Standpunkt aus wissenswert ist. Der Verfasser hat den Stoff leicht verständlich behandelt, so daß die Anleitung jedem, der sich mit dem Rechenschieber vertraut machen will, nur empfohlen werden kann. Auch solchen, die den Rechenschieber für einfachere Rechnungen bereits verwenden, wird das anregend geschriebene Heftchen gute Dienste leisten und manche Anregung geben. *P. W.*

---

## 4. Internationaler Kongreß der Geometer in Zürich 11.—14. Sept. 1930.

Programm: Mittwoch, den 10. September, 20 Uhr: Zwanglose Vereinigung der eingetroffenen Kongreß-Teilnehmer im Zunfthaus zur „Zimmerleuten". Donnerstag, den 11. September, 9 Uhr: Eröffnungs- und Geschäftssitzung im Auditorium Maximum der Eidg. Techn. Hochschule. 10¾ Uhr: Gang durch die in den Räumen der Eidg. Techn. Hochschule veranstalteten Ausstellung. 11½ Uhr: Konstituierung der Kommissionen. 14 Uhr: 1. Vortrag über „Grundbuchvermessung der Schweiz" von Herrn Vermessungsdirektor Baltensperger, vom Eidg. Justiz- und Polizeidepartement. 15—17 Uhr: Sitzungen der Kommissionen. 17—19 Uhr: Stadtrundfahrt in Autobussen unter Teilnahme der Damen, gestiftet vom Schweizerischen Geometerverein. Freitag, den 12. September, 9 Uhr: 2. Vortrag über „*Urbanisme*", von Mlle. Th. Danger, ing., Paris. 10—12 Uhr: Sitzungen der Kommissionen. 14½ Uhr: 3. Vortrag über „Die neueren schweizerischen Vermessungsinstrumente", von Prof. F. Baeschlin, Eidg. Techn. Hochschule. 15½—18 Uhr: Sitzungen der Kommissionen. 21 Uhr: Freie Zusammenkunft im Kursaal oder auf dem Uetliberg. Samstag, den 13. September, 9—12 Uhr: Sitzungen der Kommissionen. 12½—15 Uhr: Dampferrundfahrt auf dem Zürichsee. Lunch à bord, gestiftet von der Stadt Zürich. 15½ Uhr: Kongreß-Hauptversammlung im Auditorium Maximum der Eidg. Techn. Hochschule: 1. Bericht der Kommissionspräsidenten und Entschließungen. 2. Wahl des Vorstandes des Internationalen Geometerbundes. 3. Bestimmung von Ort und Zeit des nächsten Kongresses. 4. Mitteilungen. 20 Uhr: Offizielles Bankett im Grand Hotel Dolder, gestiftet von der Schweizerischen Eidgenossenschaft und vom Kanton Zürich. Sonntag, den 14. September: Ausflug auf die Rigi.

Orientierung über die beabsichtigte Durchführung der wissenschaftlichen Arbeit.

Die Arbeit des Kongresses wird in Spezialgebiete abgegrenzt und von nachgenannten Kommissionen übernommen, deren Präsidenten und Berichterstatter nach Beschluß des Vorstandes des Internationalen Geometerbundes von den angeführten Ländern bezeichnet werden sollen:

I. Kommission: Vereinheitlichung der Berufsgrundlagen. Präsident und Berichterstatter: Jugoslawien. — II. Kommission: Arbeitsmethoden und Vermessungsinstrumente. Präsident und Berichterstatter: Holland. — Die Kommission teilt sich in nachgenannte drei Ausschüsse: a) Vermessungsmethoden, Instrumente, Planherstellung und Vervielfältigung. Präsident und Berichterstatter: Tschechoslowakei. b) Polarkoordinatenmethode mittels optischer Distanzmessung. Präsident und Berichterstatter: Spanien. c) Photogrammetrie und Topographie. Präsident und Berichterstatter: Dänemark. — III. Kommission: Gesetzes-Grundlagen und Berufsausbildung. Präsident und Berichterstatter: Polen. a) Gesetzliche Grundlagen. Präsident und Berichterstatter: Litauen. b) Berufsausbildung. Präsident und Berichterstatter: Schweiz. — IV. Kommission: Geometer und Grundbesitz. Präsident und Berichterstatter: Belgien. — V. Kommission: Güterzusammenlegungen und Bodenverbesserungen. Präsident und Berichterstatter: England. — VI. Kommission: Stadt- und Bebauungspläne. Präsident und Berichterstatter: Frankreich.

Mit Ausnahmen von drei allgemeinen Vorträgen (Mlle. Danger, *Urbanisme;* Vermessungsdirektor J. Baltensperger, *La mensuration du registre foncier Suisse;* Prof. F. Baeschlin, Über neuere schweizerische Vermessungsinstrumente) soll die wissenschaftliche Arbeit in Kommissionen stattfinden. Jedes Land stellt für jede der aufgeführten Kommissionen einen Vertreter. Die Wahl der Kommissionsmitglieder erfolgt in der ersten Vollversammlung des Kongresses.

Die Kommissionen erledigen ihre Geschäfte in öffentlicher Sitzung, so daß jeder Kongreßteilnehmer sich an denselben beteiligen kann. Im allgemeinen werden aber nur die Kommissionsmitglieder zur Diskussion zugelassen. Dagegen kann jeder Kongreßteilnehmer den Kommissionen ihm geeignet erscheinende Arbeiten und Anregungen unterbreiten. Damit eine Sichtung und Verarbeitung durch die Rapporteure der Kommissionen erfolgen kann, sollen diese Arbeiten spätestens bis zum 15. Juli 1930 an das Generalsekretariat des Kongresses, Lindenhofstraße 4, Zürich I, eingesandt werden, das sie den Präsidenten der einschlägigen Kommissionen übermittelt. Titel und einschlägige Kommission sollen in französischer, englischer oder deutscher Sprache angegeben werden.

Die Berichte sollen sich womöglich auf die neueste Entwicklung beschränken und auch die wirtschaftlichen Gesichtspunkte des betreffenden Thema mitbehandeln. Sie müssen einen wissenschaftlichen, objektiven Charakter aufweisen.

Die Kommissionen entscheiden, welche Frage in den Kommissionsberatungen zu behandeln und welche Arbeiten in den Kongreßannalen zu veröffentlichen sind. Sie können die Autoren von eingereichten Arbeiten zum Referat über dieselben einladen.

Die Kommissionspräsidenten referieren in der letzten Vollversammlung des Kongresses über die Arbeiten ihrer Kommissionen und begründen die Anträge, welche der Vollversammlung zur Beschlußfassung zu unterbreiten sind.

---

## 100 Jahre P. J. Kipp & Zonen in Delft.

Die Firma N. V. Instrumentenfabriken-Handel V/H P. J. Kipp & Zonen in Delft, seit Generationen in furchtbarer geistiger und materieller Berührung auch mit der Wissenschaft und Präzisionstechnik Deutschlands, konnte am 30. Mai d. J. auf ihr hundertjähriges Bestehen zurückblicken.

Gründer der Firma war P. J. Kipp, ein Chemiker, der zunächst den Vertrieb physikalischer und chemischer Apparate aufnahm. Sein Name ist in der ganzen Welt als Erfinder des Kipp'schen Gas-Entwicklungsapparates bekannt.

Nach seinem Tode setzten seine Witwe und seine Söhne A. J. Kipp und W. A. Kipp das Geschäft unter dem Namen P. J. Kipp & Söhne fort.

Im Jahre 1887 wurde die Firma von J. W. Giltay übernommen, der ihren Namen in P. J. Kipp & Söhne, J. W. Giltay Nachfolger, änderte.

Unter der Leitung des Herrn Giltay wurde das Unternehmen durch die Herstellung verschiedener Spezial-Instrumente bekannt, wovon wir u. a. nennen: Selen-Zellen, Bellati-Elektro-Dynamometer, Mikrotome, Telephone, Telegraphen-Relais, Selen-Zellen für die Bildtelegraphie.

Herr Giltay zog sich im Jahre 1912 von den Geschäften zurück und übertrug das Unternehmen an O. A. Ankersmit, der die Firma im Jahre 1917 in eine Aktiengesellschaft umwandelte und der auch jetzt noch als Direktor des Unternehmens tätig ist.

Kipp & Söhne sind die alleinigen Hersteller in Holland von wissenschaftlichen Spezial-Instrumenten, wie dem Mollschen Registrier-Mikrophotometer, dem Infrarot-Spektrographen, Trübungs- und Absorptionsmessern, Doppelmonochromatoren, Stern-Photometer, Röntgenapparaturen, verschiedenen Arten von Galvanometern, Thermosäulen, Vakuum-Thermoelementen usw. Diese Instrumente werden über die ganze Welt an Universitäten und industrielle Laboratorien geliefert und fortgesetzt Experimente zur Ausarbeitung neuer Entwürfe und Ideen angestellt.

Nachdruck verboten.

Verantwortlich für die Redaktion: Oberregierungsrat Professor Dr. F. Göpel in Charlottenburg.
Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

# Zeitschrift für Instrumentenkunde.

*Kuratorium:*

Prof. Dr. **E. Kohlschütter** in Potsdam, Vorsitzender, Prof. Dr. **R. Straubel** in Jena,
Prof. Dr. **F. Weidert** in Berlin-Zehlendorf, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat i. R. Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

50. Jahrgang. **August 1930.** Achtes Heft.

## Die Bergedorfer Plattenmesser für das Zonenunternehmen der Astronomischen Gesellschaft.

Von

Prof. **R. Schorr** und Prof. **F. Dolberg** in Bergedorf.

Die Astronomische Gesellschaft hat eine Neubestimmung der Sternörter aller in ihren Zonen-Katalogen enthaltenen Sterne zwischen Nordpol und $-5^0$ Deklination in Angriff genommen. Diese Neubestimmung soll innerhalb weniger Jahre auf photographischem Wege ausgeführt werden.

Die photographischen Aufnahmen werden von den Sternwarten in Bonn ($-5^0,0$ bis $+22^0,5$ Dekl.), Hamburg-Bergedorf ($+20^0,0$ bis $+70^0,0$ Dekl.) und Pulkowo ($+67^0,5$ bis $+90^0,0$ Dekl.) ausgeführt. Hierfür werden vierlinsige Objektive von 160 mm Öffnung und 2060 mm Brennweite benutzt, und es wird ein Plattenfeld von $5 \times 5^0$ ($18 \times 18$ cm) ausgemessen werden. Für die photographischen Platten werden auf Planität besonders untersuchte Spiegelglasscheiben von $3^1/_2$ bis 4 mm Dicke und von der Größe $20 \times 20$ cm (Pulkowo) bzw. $22 \times 22$ cm (Bonn) und $24 \times 24$ cm (Bergedorf) benutzt.

Die Ausmessung der Sternörter auf den photographischen Platten soll in rechtwinkligen Koordinaten erfolgen, und zwar ausschließlich mit einer Meßschraube.

Die hierzu benutzten Plattenmesser müssen daher, entsprechend der Größe der auszumessenden Felder bzw. der ganzen Platte, eine Meßschraube mit einer Nutzlänge von 18 bis 24 cm haben, die Platte muß senkrecht zur Meßrichtung verschoben werden können und es muß, da die Platte in zwei um $90^0$ gegeneinander gedrehten Lagen zu vermessen ist, auch eine Einrichtung für Positionsdrehung der Platte vorhanden sein.

Für die Ausmessung der erhaltenen Aufnahmen beabsichtigten wir in Bergedorf zwei unserer Sternwarte gehörende Repsoldsche Plattenmesser nach entsprechendem Umbau zu verwenden. Bei diesen Plattenmessern wird die Einstellung des Objekts auf der Platte mittels Kippung des Meßmikroskops auf einen Maßstab übertragen. An Stelle dieser Meßeinrichtung wollten wir eine Meßschraube einbauen. Es ergab sich jedoch, daß eine solche Umänderung nur schwer durchführbar war. Unter diesen Umständen entschlossen wir uns, in der Werkstatt unserer Sternwarte drei neue Plattenmesser, zwei für Bergedorf und auf Wunsch von Herrn Prof. Küstner auch einen für die Ausmessung der Bonner Aufnahmen, anzufertigen. Diese sollen, da sie in mancherlei Hinsicht von den bisher ausgeführten Plattenmessern abweichen, nachstehend beschrieben werden.

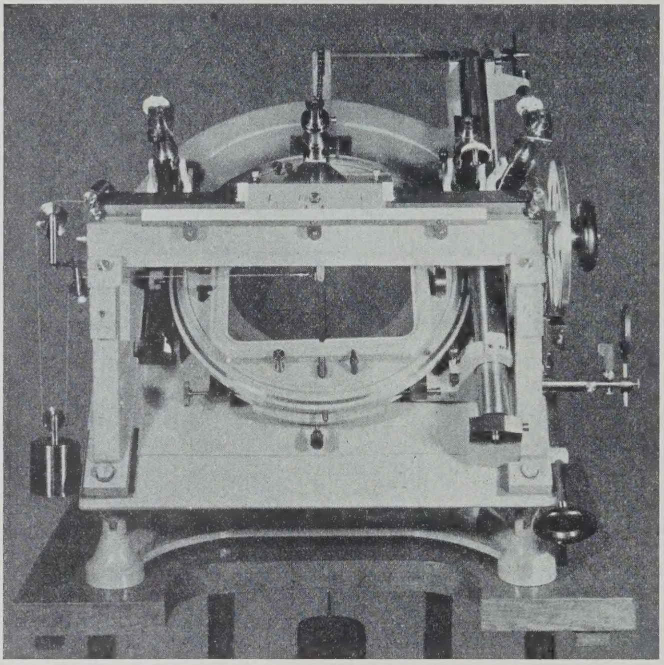


Abb. 1. Vorderansicht des Plattenmessers.

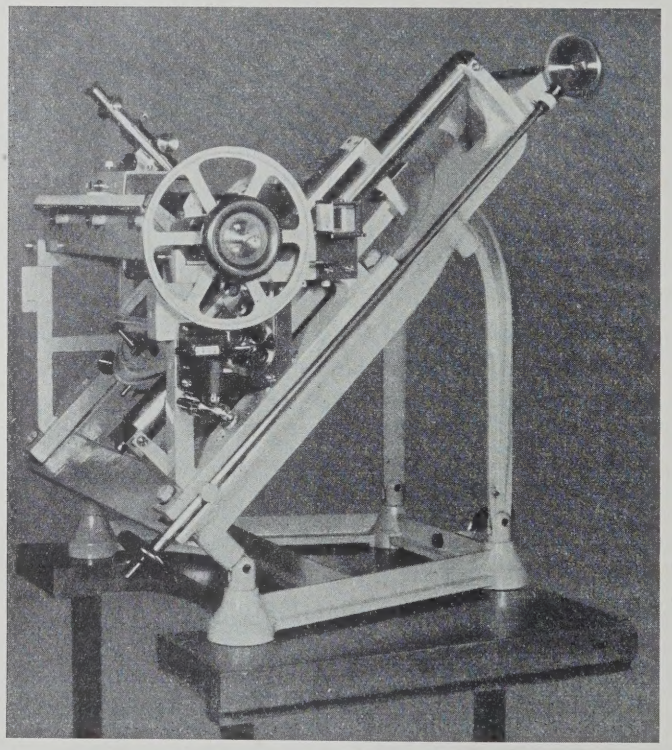


Abb. 2. Seitenansicht des Plattenmessers.

Die Grundzüge der gewählten Anordnung (Abb. 1 und 2) sind folgende:

1. Die Meßschraube ist in einer Wange mit prismatischer Führung gelagert, auf der sich der Schlitten des Meßmikroskops bewegt.

2. Der Schlitten des Meßmikroskops steht mit der Mutter der Meßschraube durch eine Mitnehmergabel in loser Verbindung.

3. Der Plattenschlitten wird rechtwinklig zur Prismenbahn der Wange auf zwei Zylindern bewegt und die Größe dieser Bewegung wird mikrometrisch gemessen.

4. Die Achse des Führungszylinders ist in die Ebene der auszumessenden Platte gelegt.

5. Der auf den Plattenschlitten aufgesetzte Plattenhalter kann eine volle Drehung im Positionswinkel erfahren.

6. Die auszumessende photographische Platte wird im Plattenhalter in gleicher Weise gehalten wie in der Aufnahmekassette am Fernrohr.

## 1. Aufbau des Plattenmessers.

Auf einer kräftigen Tischplatte (Abb. 3) ruht mit vier angegossenen Füßen ein gußeisernes, trapezförmiges Rahmengestell *A*. Mit diesem steht in Gelenkverbindung *a* über den beiden hinteren Füßen ein gußeiserner Bügel *B*, der oben eine Kugel trägt. Die kräftige, durch zahlreiche Rippen verstärkte und zur Durchleuchtung der Platte mit

einer kreisrunden Öffnung von 25 cm Durchmesser versehene gußeiserne Grundplatte *C* des Plattenmessers steht vorn in fester Gelenkverbindung *b* mit dem Rahmengestell *A*, hinten legt sie sich mit einer Pfanne auf die Kugel des aufgerichteten Bügels auf; sie ist dann um 45° gegen die Horizontale geneigt. Die Grundplatte ruht also auf

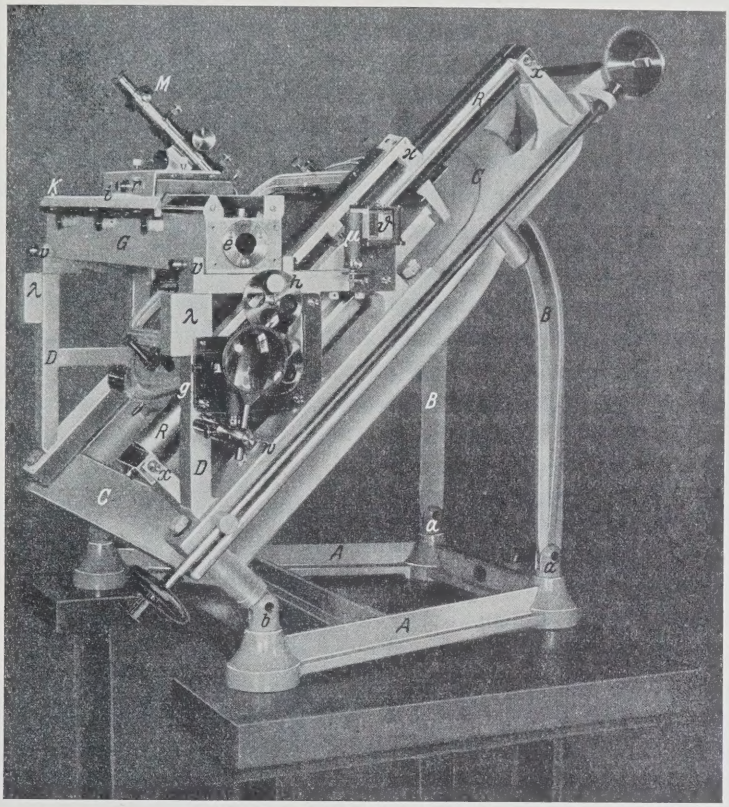



Abb. 3. Plattenmesser ohne Schraube. Seitenansicht.

drei Punkten und kann daher keine wechselnden Verspannungen durch ihre Unterlagen erfahren.

Auf der Grundplatte sind angegossen die Lager für die beiden Führungszylinder des Plattenschlittens, sowie aufgeschraubt zwei kräftige Konsolen *D*, welche die mit Prismenführung versehene Wange nebst Schraubenspindel und Mikroskopschlitten tragen.

## 2. Die Meßschraube und ihre Lagerung.

Die Spindel *E* (Abb. 4) hat eine Schaftlänge von 60 cm und einen Durchmesser von 25 mm, das Gewinde der Spindel hat eine Steigung von 1 mm und eine Länge von 325 mm. Die Mutter *F* ist 60 mm lang, so daß also die Nutzlänge der Spindel 265 mm beträgt.

Die Spindel ist aus Siemens-Martin-Stahl hergestellt. Sie ruht in Y-Lagern *e* aus Bronze, die in den Stirnseiten der Wange *G* eingesetzt sind. Das Schraubengewinde und die Spindelzapfen sind vollkommen konzentrisch hergestellt. Das linke Ende der Spindel endigt in einer zentrisch eingesetzten harten Stahlfläche *f*, die genau plan und zur Drehachse senkrecht geschliffen ist. Das Gegenlager besteht aus einer in eine Bronzeplatte eingepreßten Stahlkugel, die zentrisch zur Drehachse an der linken

Stirnseite der Wange angebracht ist. Nach hier angestellten Versuchen hat sich bei diesem Drucklager Stahl auf Stahl am besten bewährt. Steinlager, sowie Achat auf Stahl, Diamant auf Stahl, Saphir auf Stahl haben sich bei den hier vorkommenden Druckverhältnissen (der Lagerdruck der Spindel beträgt 2 kg) nicht bewährt; diese Steinlager schliffen sich unter Splitterbildung ungleichmäßig und wesentlich schneller ein als Stahl auf Stahl.

Bei der gewählten Anordnung, zentrierte Stahlkugel und plane Stahlfläche senkrecht zur Drehachse, werden sich Stahlkugel und Stahlfläche durch allmähliches gleichmäßiges Einschleifen zu einer mit der Drehachse koaxialen Rotationsfläche ausbilden; es werden daher periodische Änderungen der Lage der Drehachse vermieden, vorausgesetzt, daß die Spindel immer nur zentrisch bewegt wird. Die Hilfsvorrichtungen für die Drehung der Spindel sind daher diesem Gesichtspunkt entsprechend ausgebildet worden.

Auf dem rechten Ende der Spindel sitzt das gußeiserne Meßrad *H* von 190 mm Durchmesser, dessen Kranz auf eingelegtem Silberstreifen eine Teilung in 500 Teile trägt. Die vollen Umdrehungen werden durch ein kleines Zählwerk *g* mit springenden Ziffern angegeben, das durch Zahnradübersetzung mit der Meßschraube in Verbindung steht.

Zum Drehen der Spindel beim Messen dient ein neben dem Meßrad auf die Spindel aufgesetzter Holzgriff *J* von 90 mm Durchmesser. Um der Spindel auch eine schnelle Drehung erteilen zu können, kann auf den Holzgriff zentrisch ein mit zwei Hookeschen Gelenken versehener Schlüssel aufgesteckt werden, der in etwa 50 cm Entfernung vom Apparat mit einem Kurbelrad in Verbindung steht.

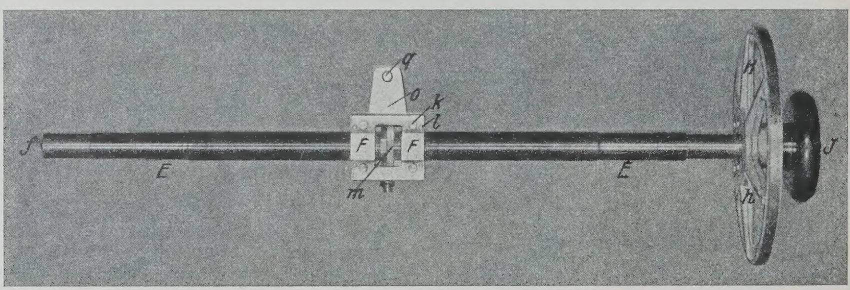



Abb. 4. Meßschraube mit Mutter und Trommel.

Der Antrieb der Spindel bei der schnellen Drehung erfolgt bei dieser Anordnung daher auch zentrisch, also ohne seitlichen Spindeldruck, der bei einer Zahnradübertragung oder dergleichen eintreten kann.

Zur Ablesung der Meßtrommel sind zwei Indizes in 200 p Abstand, einer vorn und einer hinten, angebracht. Der vordere Index dient zur direkten Ablesung der Trommel durch den Messenden, der hintere Index zur Fernablesung der Trommel durch einen Gehilfen. Über die hierfür getroffene Anordnung wird weiter unten noch berichtet werden.

Zur bequemen Ablesung der ganzen Umdrehungen für den Messenden ist auch noch an der Vorderseite der Prismenwange ein Zelluloid-Maßstab *K* angesetzt, über dem sich ein am Schlitten befestigter Index *i* bewegt.

### 3. Die Mutter der Meßschraube.

Die Schraubenmutter $F$ ist aus Rotguß hergestellt und hat eine Länge von 60 mm. Ihre Form ist aus Abb. 4 ersichtlich. Der mittelste Teil der Mutter ist in einer Breite von 20 mm ausgefräst, so daß nur die beiden Enden mit je 20 Gängen in die Schraube eingreifen. Das Gewinde ist ferner zum Teil ausgefräst, so daß die Mutter an vier um $90^0$ gegeneinander versetzten, 8 mm breiten Stellen eingreift. Die Mutter ist weiterhin senkrecht durchgeschnitten, und die beiden Hälften, von denen also jede aus zwei durch zwei Brücken oben und unten verbundenen Gewindebacken besteht, werden durch vier Federdruckschrauben $k$ zusammengepreßt und damit an die Spindel angedrückt. Neben diesen Druckschrauben sind vier Führungsstifte $l$ von 4 mm Stärke eingesetzt, so daß die Mutterhälften nur parallel auseinandergehen, sich aber nicht gegeneinander drehen können.

In der Mitte der Brücken der einen Mutterhälfte befindet sich, oben und unten in kegelförmigen Zapfen lose gelagert und daher frei beweglich, ein die Spindel umschließender stählerner Ringkörper $m$, gegen welchen sich die Arme $n$ (Abb. 5) der Mitnehmergabel des Schlittens unter Druck anlegen, so daß also zwischen Mutter und Schlitten nur eine lose Verbindung besteht.

Die den Ringkörper tragende Mutterhälfte hat einen nach oben gehenden Verlängerungsarm $o$, der, wie gleich geschildert wird, in Verbindung mit einem am Schlitten $L$ festen Anschlag das Auftreten einer Drehung der Mutter verhindert.

### 4. Prismenwange und Schlitten.

Die gußeiserne Wange $G$ hat eine Länge von 55 cm, eine Breite von 75 mm und das aus Abb. 3 ersichtliche Profil mit einer vorderen Wand von 78 mm Höhe für die Prismenführung und einer hinteren Wand von 78 mm Höhe für die Planführung des Schlittens. Die Stirnwände der Wange, in denen die Lager $e$ für die Spindel eingesetzt sind, haben eine Stärke von 23 mm, die Wange selbst eine Stärke von 17 mm.

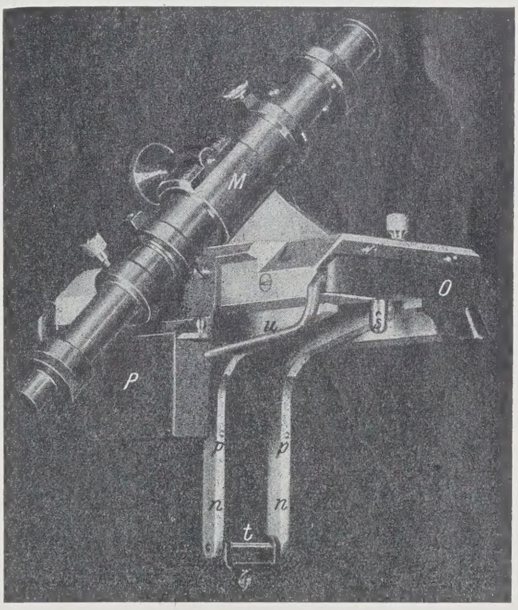


Abb. 5. Schlitten mit Meßmikroskop.

Der das Meßmikroskop $M$ tragende Schlitten (Abb. 5) hat eine Länge von 170 mm, eine Breite von 84 mm, eine Stärke von 25 mm und wiegt mit Mikroskop 2,8 kg. Er ruht mit drei Gleitflächen auf der Wange auf, und zwar sind die beiden Auflageflächen der Prismenführung an beiden Enden je 18 mm lang, das Gleitstück für die plane Führung in der Mitte des Schlittens ist 24 mm lang.

Um die Bewegung der Mutter auf den Schlitten zu übertragen, ist dieser mit einer Mitnehmergabel versehen, deren beide senkrecht nach unten gehenden Arme $n$ in die Aussparung der Mutter zu beiden Seiten der Spindel eingreifen und sich dort mit kleinen eingesetzten harten Kugeln $p$

gegen den Ringkörper *m* der Mutter unter Druck des auf den Schlitten wirkenden Zuggewichts von 2 kg anlegen. Die Anlegestellen der Kugeln liegen annähernd in der durch die Spindelachse gehenden horizontalen Ebene, also senkrecht zu den Drehzapfen des Ringes. Infolge dieser losen, gewissermaßen kardanischen Verbindung liegt der Angriffspunkt für die Schlittenbewegung zentrisch zur Spindel.

Um die Drehbewegung der Mutter aufzuheben, trägt der bereits erwähnte, nach oben gehende Verlängerungsarm *o* der Mutter an seinem Ende auf der einen Seite eine harte Stahlplatte *q* und auf der anderen Seite eine kleine Stahlkugel. Im Schlitten ist ein Federstift eingesetzt, der gegen die Stahlscheibe des Verlängerungsarms drückt und damit die Kugel gegen eine im Schlitten eingelassene Stahlscheibe anpreßt. Eine Drehbewegung der Mutter kann daher nur eintreten, wenn die Führungsbahn des Schlittens nicht parallel zur Spindelachse ist. Ist die Führungsbahn nicht parallel, aber genau geradlinig, so tritt eine gleichmäßige Drehbewegung der Mutter ein und es wird hierdurch nur der Schraubenwert im ganzen geändert; wenn die Führungsbahn der Wange aber nicht genau geradlinig ist, so ist die Drehbewegung der Mutter ungleichmäßig und die Abweichungen von der gleichmäßigen Drehbewegung treten als fortschreitende Fehler der Spindel in Erscheinung.

Der Schlitten wird durch ein Zuggewicht von 2 kg nach links gezogen, so daß die Spindel durch die Mitnehmergabel des Schlittens, die gegen den Ring der Mutter anliegt, ebenfalls mit einem Gewicht von 2 kg, wenn man vom Reibungs- und Trägheitswiderstand des Schlittens absieht, an ihr Gegenlager angedrückt wird. Das Zuggewicht greift an zwei Stellen des Schlittens symmetrisch zu den Druckstellen der Mitnehmergabel an, und zwar oben an einem am linken Ende des Schlittens befindlichen Stift *s* und unten an einem an der Mitnehmergabel angesetzten Bügel *t* (Abb. 5). Die Schnüre laufen über Rollen *N* (Abb. 6) an der linken Konsole der Wange.

Der Druck der Spindel im Gegenlager ist für die beiden Drehrichtungen um das Doppelte der Summe von Reibungswiderstand und Trägheitswiderstand des Schlittens verschieden; dieser Druckunterschied hat einen toten Gang der Schraube zur Folge, der durch Verwendung verschiedener Zuggewichte für beide Drehrichtungen beseitigt werden könnte. Da jedoch eine solche Einrichtung beim Gebrauch des Apparates unbequem zu handhaben wäre, das Eigengewicht des Schlittens aber wegen seiner sicheren Führung auf der Bahn nicht verringert werden durfte, so wurde der tote Gang durch Verringerung der Reibung des Schlittens auf der Bahn mittels einer selbsttätigen Schmiereinrichtung der Führungs- und Gleitflächen der Wange auf ein Minimum ($2\,\mu$) gebracht.

Zu diesem Zweck trägt der Schlitten *L* rechts und links lose zwei Rahmen *O*, die in Breite der Führungsflächen mit Dochten auf den Führungsflächen der Wange aufliegen. Die Dochte gehen mit kleinen Rohrleitungen *u* in ein an der Hinterseite des Schlittens angebrachtes kleines Gefäß *P*, das mit Watte und Petroleum gefüllt ist. Durch die Saugwirkung der Dochte werden daher die Gleitflächen der Wange bei der Bewegung der Spindel während des Messens leicht eingefettet und zugleich staubfrei gehalten.

Um die Spindel vor Staub zu schützen, ist über der Wange an beiden Seiten des Schlittens je ein Seidenband angebracht, das sich bei der Bewegung des Schlittens rouleauartig auf- und abrollt. Die beiden Rollen für diese Seidenbänder befinden sich an den Enden der Wange und werden durch eine Schnur mit Spiralfeder unter gleichem Zug gehalten, so daß auch auf den Schlitten bei jeder Stellung nach beiden Seiten der gleiche Zug durch die Rollbänder ausgeübt wird.

### 5. Aufstellung der Wange.

Die Wange $G$ (s. Abb. 3) steht auf zwei auf der Grundplatte $C$ (Abb. 6) verschraubten Konsolen $D$ mit horizontalen Tragflächen, so daß die Führungs- und Gleitbahnen der Wange gleichfalls horizontal liegen. Sie liegt mit den Stirnwänden auf den Konsolen auf, und zwar links auf einer in die Tragfläche der Konsole eingelassenen kugeligen Kuppe, rechts auf zwei ebenfalls in die Tragfläche eingelassenen Ringwülsten.

Die Wange ist auf der Konsole rechts mit zwei durch die Konsole und die Ringwülste gehenden Schrauben, links aus Konstruktionsgründen ebenfalls mit zwei

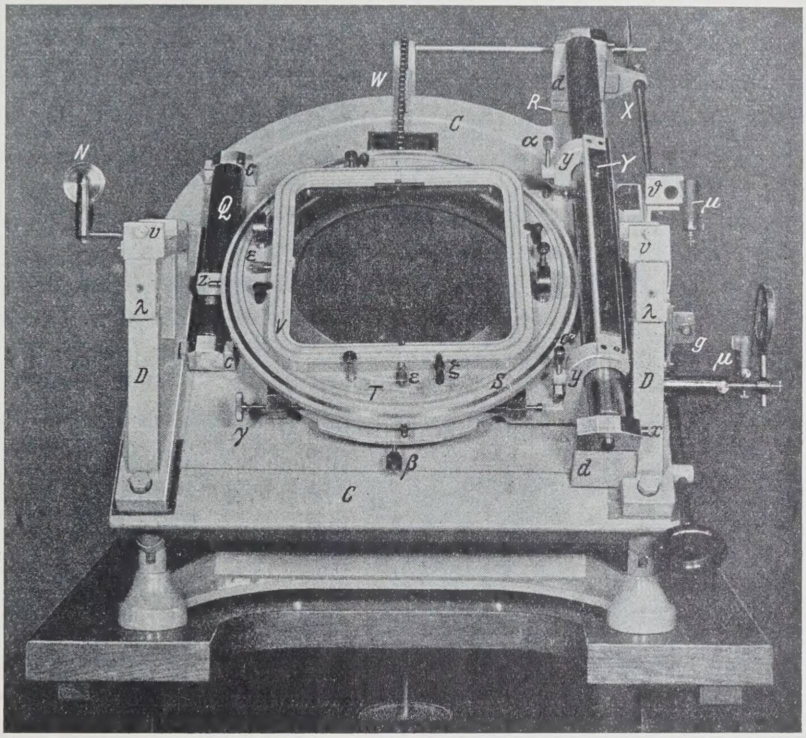



Abb. 6. Plattenmesser ohne Wange und Schraube. Vorderansicht.

Schrauben befestigt, die zu beiden Seiten der Auflagekuppe symmetrisch angesetzt sind und, um Verspannungen der Wange zu vermeiden, nicht fest, sondern unter Federdruck angeschraubt werden.

Die seitliche Festsetzung der Wange erfolgt durch vier an der Konsole angebrachte Stellschrauben $v$. Die Konsolen selbst ruhen auf Arbeitsflächen der Grundplatte und können gleichfalls durch Stellschrauben $w$ (Abb. 3) nach oben und unten verstellt werden.

### 6. Die Führungs-Zylinder.

Die Verschiebung des Plattenträgers in der Y-Richtung erfolgt auf Stahlzylindern, die auf der Grundplatte gelagert sind. Der linke kleine Gleitzylinder $Q$ hat einen Durchmesser von 40 mm und eine Länge von 260 mm und ruht mit zylindrischen Zapfen in festen V-Lagern $c$, in denen er durch seitliche Druckschrauben gehalten wird. Er hat also eine feste Lage und wird nur gedreht, falls einmal eine neue Gleitfläche genommen werden soll.

Der rechte große Führungszylinder $R$ hat einen Durchmesser von 40 mm und eine Länge von 560 mm. Seine Lagerzapfen haben prismatischen Querschnitt; er ruht auf der Basisfläche und seine Festsetzung und Einstellung erfolgt durch Stellschrauben $x$, die gegen die Prismenflächen drücken. Der Führungszylinder wird so gerichtet, daß seine Achse derjenigen des kleinen Zylinders parallel ist.

### 7. Der Plattenschlitten mit Positionskreis und Plattenhalter.

Der ringförmig ausgestaltete Plattenschlitten ruht rechts mit zwei krallenförmigen Auslegern $y$ auf dem Führungszylinder $R$ und links mit einer Nase $z$ auf dem Gleitzylinder $Q$. Auf der Innenfläche der beiden Krallen $y$ sind je zwei Achatstücke eingesetzt, deren Auflageflächen dem Zylinderradius entsprechend eingeschliffen wurden. Auf der Gleitnase links ist als Gleitfläche eine zylindrisch ausgeschliffene Bronzekugel in einer kugeligen Lagerschale lose eingesetzt. Der Plattenschlitten kann durch je eine an jeder Kralle befestigte Klemme $\alpha$ gegen den Zylinder festgeklemmt werden, und zwar erfolgt die Klemmung durch ein von unten gegen den Zylinder drückendes Klemmstück.

In den Plattenschlitten ist ein mit Klemme $\beta$ und Feinbewegung $\gamma$ versehener Träger für den Positionskreis $S$ drehbar eingesetzt, dessen Drehung mittels vier am Rande eingesetzter Fingerknöpfe erfolgt. Die Teilung des Positionskreises ist auf einem eingelegten Silberstreifen von 10′ zu 10′ mit Bezifferung von $2^0$ zu $2^0$ ausgeführt und kann durch zwei an der Prismenwange angesetzte Mikrometer-Mikroskope bis auf 1″ abgelesen werden.

Auf dem Positionskreisträger werden die Plattenhalter $T$ aufgeschraubt; ihre Lage wird durch drei Paßstifte und drei in Höhe abgestimmte kleine Auflagestücke festgelegt.

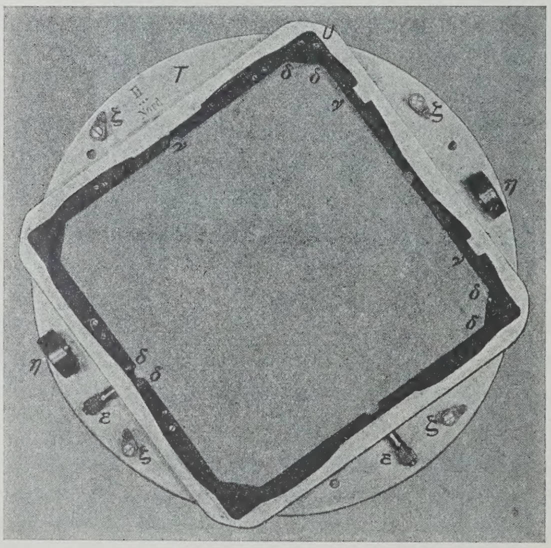


Abb. 7. Plattenhalter ohne Deckelrahmen.

Der Plattenhalter (Abb. 7) besteht aus einer 6 mm starken gußeisernen Scheibe von 34 cm Durchmesser, auf welcher der viereckige Plattenrahmen $U$ befestigt ist. Die Platte wird in diesem genau so gehalten wie in der Aufnahmekassette: sie wird durch starke Blattfedern $\delta$ gegen den oberen abnehmbaren Deckel des Rahmens angepreßt, und zwar bei Benutzung Zeissscher Kassetten (Bonn) für die photographischen Aufnahmen auf der ganzen Länge der vier Seiten des Rahmendeckels, bei den Bergedorfer Kassetten nur gegen drei einstellbare kleine Anschlagflächen (Schraubenköpfe). Weiter wird die Platte seitlich genau so wie in den Aufnahmekassetten durch zwei Druckfedern $\varepsilon$ gegen eine bzw. zwei justierbare Anschlagflächen $\nu$ angedrückt. Der eingepaßte Rahmendeckel $V$ wird durch vier Knebel $\zeta$ festgesetzt. Der Plattenhalter kann mittels zweier Handgriffe $\eta$ leicht auf den Positionskreisträger aufgesetzt werden; für jeden Plattenmesser sind zwei Plattenhalter vorhanden.

Die gegenseitige Anordnung und Lagerung von Plattenschlitten und Führungszylinder wurde so ausgeführt, daß die Achse des Führungszylinders in der Plattenebene liegt. Diese Anordnung wurde gewählt, weil bei ihr die Fehler der Gleitfläche den geringsten Einfluß auf die Messungen haben (vgl. Nr. 8).

Der Plattenschlitten wird durch ein an einer Gallschen Kette hängendes Gewicht im Gleichgewicht gehalten. Das Kettenrad hierfür ist an dem Arm $W$ (Abb. 6) der Grundplatte befestigt und kann sowohl durch den Messenden mittels einer Kegelradübertragung mit einer an der Grundplatte seitlich angebrachten Schlüsselstange $X$ als auch durch den rechts sitzenden Gehilfen mit einem Steckschlüssel bewegt werden.

Auf einer Brücke zwischen den beiden Führungskrallen des Plattenschlittens ist ein in Millimeter geteilter Nickelmaßstab $Y$ befestigt, der zur Messung der $y$-Koordinate des auf der Platte eingestellten Objekts dient und mit einem an der Wange angesetzten Mikrometermikroskop (1 Trommelteil $= 1\ \mu$) abgelesen wird.

### 8. Fehler der Schlittenführung und ihr Einfluß auf die Messung.

Bei den Repsoldschen Plattenmessern wird zur Hervorbringung der geradlinigen Bewegung des Plattenschlittens die Führung desselben auf einem Zylinder in Verbindung mit der Abrollung einer am Plattenschlitten angesetzten Laufrolle auf einer planen Fläche benutzt. Bei dieser Anordnung treten nun, wie zuerst von Gill *(Memoirs of the Royal Astronomical Society, Vol.* ***51****. p. 17)* festgestellt wurde, Abweichungen von der geradlinigen Bewegung auf, die Beträge bis zu 6 $\mu$ erreichen. Man bezeichnet diese Fehler nach Gill als „Zylinderfehler“ *(errors of the cylinder)*; richtiger ist es, sie „Fehler der Schlittenführung“ zu nennen, da sie die vereinigte Wirkung dreier verschiedener Fehlerquellen darstellen, nämlich:

1. Abweichung des Führungszylinders von der genauen zylindrischen Form (eigentliche Zylinderfehler);
2. Abweichung der Gleit- (oder Roll-) Fläche von der mathematisch genauen Form dieser Fläche;
3. Geneigte Lage der Gleitfläche gegen die Achse des Führungszylinders.

Die erste Fehlerursache, die Gill allein in Rücksicht zieht, wird aber Fehler von der angegebenen Größenordnung im allgemeinen nicht erzeugen, da Zylinder bei der üblichen feinmechanischen Ausführung viel genauer herzustellen sind. Die zweite und dritte Fehlerquelle werden aber, wie nachstehend gezeigt wird, einen um so stärkeren Einfluß ausüben, je größer der Abstand der Achse des Führungszylinders von der Plattenebene ist. Bei den Repsoldschen Plattenmessern liegt aber die Plattenebene über der Achse des Führungszylinders, z. B. bei den hiesigen 7 cm. Daß hierin die Ursache für die Größe der „Zylinderfehler“ bei den Repsoldschen Plattenmessern liegt, wurde hier erkannt, als wir zur Prüfung der für unsere Plattenmesser hergestellten Führungszylinder, welche annähernd die gleiche Größe wie die Repsoldschen Zylinder haben, einen derselben in den Repsoldschen Plattenmesser einsetzten. Es ergaben sich hierbei für unsern Zylinder merkwürdigerweise fast genau die gleichen „Zylinderfehler“ wie für den Repsoldschen. Der Zylinder wurde nun mit umgekehrter Achsenlage eingelegt, worauf sich wieder annähernd die gleichen Fehler mit denselben Vorzeichen ergaben.

Hiernach konnten also die „Zylinderfehler“ in der Hauptsache keine Fehler des Zylinders selbst sein, sondern mußten eine andere Ursache haben. Es zeigte sich, daß sie auf den durch die erhöhte Plattenlage vergrößerten Einfluß der Fehler der planen Abrollfläche zurückgeführt werden mußten. Als wir dann beim Repsoldschen Platten-

messer die Platte behelfsmäßig um 7 cm tiefer legten, so daß also die Zylinderachse in der Plattenebene lag, blieb von den Zylinderfehlern nur noch ein Achtel ihres früheren Betrages übrig, wie aus der nachstehenden Zusammenstellung ersichtlich ist.

Zylinderfehler des Repsoldschen Plattenmessers A in Bergedorf.
(Meßmikroskop auf Plattenmitte gestellt.)

| y-Skala | Anordnung der Plattenebene. 7 cm über Zylinderachse | Anordnung der Plattenebene. in Zylinderachse |
|---|---|---|
| 310 mm | 4,7 μ | 0,6 μ |
| 320 | − 4,1 | − 0,5 |
| 330 | − 3,7 | − 0,4 |
| 340 | − 3,1 | − 0,4 |
| 350 | − 2,5 | − 0,3 |
| 360 | − 1,8 | − 0,2 |
| 370 | − 1,4 | − 0,1 |
| 380 | − 1,2 | − 0,1 |
| 390 | − 0,9 | − 0,1 |
| 400 | − 0,6 | 0,0 |
| 410 | − 0,3 | 0,0 |
| 420 | 0,0 | 0,0 |
| 430 | 0,0 | 0,0 |
| 440 | 0,0 | 0,0 |
| 450 | − 0,3 | 0,0 |
| 460 | − 0,8 | 0,0 |
| 470 | − 1,2 | − 0,1 |
| 480 | − 1,6 | − 0,1 |
| 490 | − 1,7 | − 0,2 |
| 500 | − 2,1 | − 0,3 |
| 510 | − 2,8 | − 0,3 |
| 520 | − 3,8 | − 0,5 |
| 530 | − 4,7 | − 0,6 |

Die erste Fehlerursache, die nicht genaue Form des Führungszylinders, bringt bei der Bewegung des Plattenschlittens eine Verschiebung des Koordinaten-Nullpunkts sowohl in der $x$-Richtung als auch in der $y$-Richtung hervor. Bei der Messung mit der Meßschraube kommt nur die Verschiebung $Z_x$ in der $x$-Richtung in Frage.

Die zweite Fehlerquelle, die Abweichung der Gleitfläche von ihrer mathematisch genauen Gestalt, veranlaßt eine Drehung des ganzen Plattenschlittens um die Achse des Führungszylinders und hierdurch ebenfalls eine Verschiebung $V_x$ des Koordinaten-Nullpunkts in der $x$-Richtung.

Die dritte Fehlerursache, die geneigte Lage der Gleitfläche gegen die Achse des Führungszylinders, bewirkt gleichfalls durch Drehung des Plattenschlittens eine Verschiebung des Koordinaten-Nullpunkts in der $x$-Richtung; da aber der Koordinaten-Nullpunkt als die Mitte der Verbindungslinie zweier fester Punkte auf der Platte bestimmt wird, so liegt die aus dieser Fehlerquelle sich ergebende Fehlerkurve symmetrisch zu den beiden festen Plattenpunkten, sofern in der Plattenmitte die Blickrichtung senkrecht auf der Plattenebene steht.

In Abb. 8 sei $O$ ein Punkt der Achse des Führungszylinders, $PN$ die Plattenebene, die von ihr den Abstand $h$ hat; $P$ sei ein Plattenpunkt, der mit dem Meßmikroskop in der festen Richtung $MP$ senkrecht zur Plattenebene $PN$ eingestellt wird. Erfährt der Plattenschlitten infolge der fehlerhaften Gestalt und Lage der Gleitbahn eine Winkeldrehung $\alpha$ um die Zylinderachse, so rückt der Plattenpunkt $P$ nach $P'$ und die Parallelverschiebung $V_x = P'T$ der Blickrichtung $M'P'$ gegen die Blickrichtung $MP$ hat, wie man aus der Abbildung ersieht, den Wert

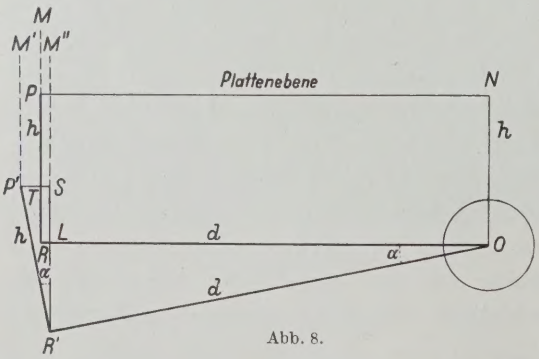


Abb. 8.

$$V_x = h \sin\alpha - 2\, d \sin^2 \frac{\alpha}{2}\,.$$

Hierzu tritt noch der von einer fehlerhaften Gestalt des Führungszylinders herrührende

Zylinderfehler $Z_x$, so daß die Einstellung des Punktes $P$ auf der Platte die Gesamtverschiebung

$$V = h \sin \alpha - 2\, d \sin^2 \frac{\alpha}{2} + Z_x$$

erfährt.

Liegt die Achse des Führungszylinders nicht in der Plattenebene, so kann das erste Glied erhebliche Beträge erreichen und die anderen Glieder bei weitem übertreffen. Man muß daher die Achse des Führungszylinders möglichst genau in die Plattenebene verlegen.

$Z_x$ hängt von der Form des Zylinders ab, ist also eine Funktion von $x$ und $y$; $d$ ist gleich $x +$ const, $\alpha$ eine Funktion von $y$. Infolgedessen ist $V$ eine Funktion von $x$ und $y$. Es genügt daher eigentlich nicht, diese Verschiebung, wie es gewöhnlich geschieht, nur für den der Mitte der Platte entsprechenden $x$-Wert zu bestimmen, sondern man muß sie strenggenommen für eine Reihe von $x$-Werten innerhalb des Plattenfeldes ermitteln.

Bezeichnet $\alpha_0$ den zu $y_0$ gehörigen Drehungswinkel $\alpha$ des Plattenschlittens, so kann man für jedes $y$ den Winkel $\alpha - \alpha_0$ ermitteln, indem man bei horizontaler Lage des Plattenschlittens auf diesen ein empfindliches Niveau setzt und die Blasenstellung für $y_0$ und $y$ bestimmt.

Für $\alpha - \alpha_0 = 10''$ ergibt sich für das zweite Glied $2\, d \sin^2 \frac{\alpha}{2}$ von $V_x$ bei einem Plattenfeld von $24 \times 24$ cm ein Maximalbetrag von $\frac{1}{100}\,\mu$; dagegen erreicht das erste Glied $h \sin \alpha$ für $h = 70$ mm den großen Betrag von $3{,}4\,\mu$. Wenn man aber die Achse des Führungszylinders in die Plattenebene legt, also $h = 0$ macht, so kann $V_x$ als verschwindend klein angesehen werden, so daß nur die wirklichen Fehler $Z_x$ des Zylinders übrigbleiben, der sich innerhalb eines Spielraums von ungefähr $1\,\mu$ genau herstellen läßt.

## 9. Das Meßmikroskop.

Senkrecht zur Plattenebene ist auf dem Schlitten das Meßmikroskop $M$ befestigt. Es hat ein Objektiv von 50 mm Brennweite, gibt zweimalige Objektivvergrößerung und ist zur genauen Einstellung mit Zahn- und Triebbewegung versehen. Es sind drei Okulare von 13, 20 und 26 mm Brennweite vorhanden, so daß für die Ausmessung der Sternplatten 20 bis 40fache Vergrößerungen zur Verfügung stehen.

In der Brennebene des Objektivs befindet sich ein Strichnetz auf Glas, bestehend aus einem horizontalen einfachen Strich und drei dazu senkrechten Strichpaaren. Ein Strichpaar hat eine Weite von 0,14 mm, die beiden anderen haben eine solche von 0,24 mm. Die Distanz der Mitten der beiden weiten Strichpaare beträgt 1,00 mm, entspricht also bei der doppelten Objektivvergrößerung einer Strecke von 0,50 mm auf der Platte, so daß durch Einstellung des Objekts mit beiden Strichpaaren etwa vorhandene periodische Schraubenfehler unschädlich gemacht werden können. Auf die Okulare kann ein Reversionsprisma aufgeschraubt werden; es kann also das Objekt von rechts und von links bei gleichem Drehungssinn der Schraube eingestellt werden.

Die Strichplatte kann durch eine kleine Mikrometerschraube mit Trommel in der Meßrichtung verschoben werden, so daß der Nullpunkt der Platte in Übereinstimmung mit der Nullstellung der Spindel gebracht werden kann.

## 10. Fernablesung.

Damit der Messende seine ganze Aufmerksamkeit auf die Einstellung des Objekts auf der Platte verwenden kann und nicht genötigt ist, für die Ablesung der Skalen sein Auge jedesmal anders einzustellen, ist die Ablesung der Meßtrommel und eines $y$-Maßstabes durch einen Gehilfen vorgesehen, der zur Vermeidung einseitiger Wärmewirkung etwa 1 m vom Plattenmesser entfernt seinen Platz hat. Diese Fernablesung (Abb. 9) erfolgt mit einem kleinen, auf dem Tisch des Gehilfen aufgestellten Fernrohr

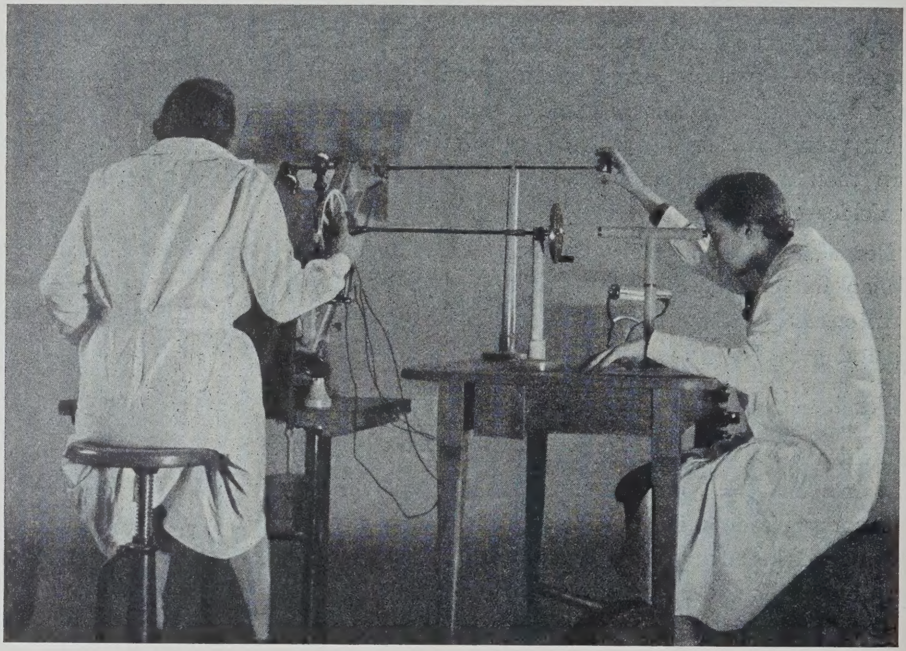


Abb. 9. Fernablesung bei der Messung.

in Verbindung mit einem Pentagonprisma $\vartheta$ (Abb. 6), das auf der rechten Konsole gegenüber dem hinteren Index der Meßtrommel angebracht ist. In dem Gesichtsfelde dieses Fernrohrs erscheint auch zugleich das Bild eines zweiten seitlich an der Brücke des Nickelmaßstabs angesetzten $y$-Maßstabs $\varkappa$ (Abb. 3) aus Zelluloid. Der Gehilfe kann also mit dem Fernrohr Meßtrommel und $y$-Maßstab und mit bloßem Auge das durch eine Linse vergrößerte Ziffernbild des Zählwerks $g$ ablesen. Außerdem kann er mit dem Steckschlüssel auch die Grobeinstellung des Plattenhalters in $y$ und mit dem Kurbelrad für die Schnellbewegung der Spindel die Grobeinstellung in $x$ vornehmen. Der Messende braucht also tatsächlich nur die Feineinstellung des Objekts auszuführen.

## 11. Wärmeschutz.

Um die Körperwärme des Messenden während der Messung möglichst von Wange, Schraube und Schlitten fernzuhalten, wird ein Nickelschutzblech an die Konsolenansätze $\lambda$ angeschraubt, das Wange und Schlitten vollkommen verdeckt, in einem Fenster aber den $x$-Maßstab sichtbar läßt. Außerdem wird noch unterhalb des Schutzblechs ein seidener Schutzvorhang angesetzt.

### 12. Beleuchtung.

Um die Platte längs des Meßbereichs gleichmäßig zu durchleuchten, wird diffuses Licht benutzt. Hierzu ist unterhalb der Grundplatte an dem Bügel des Rahmengestells ein mattweißer Schirm angebracht, der entweder durch Tageslicht oder durch eine in größerer Entfernung aufgestellte Rampenlampe von 26 cm Länge beleuchtet wird. Um den Messenden vor Blendung durch diese Beleuchtung zu schützen, ist die Rampenlampe in einem Blechkasten untergebracht, aus welchem das Licht nur auf den Beleuchtungsschirm fallen kann. Außerdem ist am Meßmikroskop ein kleiner drehbarer Blendschirm angesetzt, der das freie Auge des Messenden schützt.

Für die Fernablesung von Trommel, $y$-Skala und Zählwerk sind zwei 4 Volt-lampen $\mu$ (Abb. 3) neben dem Pentagonprisma und dem Zählwerk angesetzt, die vom Gehilfen durch Druckknöpfe auf dem Tisch eingeschaltet werden können.

### 13. Prüfen und Richten der Plattenmesser.

a) Der Plattenmesser ist so aufzustellen, daß der Schlitten sich möglichst genau horizontal bewegt, da bei geneigter Lage der Schlittenführung der Spindeldruck auf das Gegenlager in beiden Bewegungsrichtungen verschieden ist.

b) Die Achsen des großen und des kleinen Zylinders müssen zueinander parallel sein.

1. Zunächst werden die Achsen in eine Ebene gelegt. Hierzu wird auf den Plattenschlitten ein empfindliches Niveau aufgesetzt und der Plattenschlitten in der $y$-Richtung bewegt. Liegen die beiden Achsen in einer Ebene, so bleibt die Blase ruhig; anderenfalls sind die Lagerflächen des großen Zylinders in Höhe entsprechend abzustimmen.

2. Um zu erkennen, ob beide Achsen auch parallel zueinander liegen, wird an der Bronzekugel in der Nase des Plattenschlittens ein nach oben gehender längerer Zeiger befestigt. Sind die beiden Zylinder nicht parallel, so wird die Kugel bei der Bewegung des Plattenschlittens sich auf dem kleinen Zylinder seitwärts verschieben und der Zeiger wird diese Verschiebung vergrößert wiedergeben. Die parallele Lage beider Zylinder wird dann mit den Stellschrauben $x$ des großen Zylinders hergestellt.

c) Die Achse der Positionsdrehung muß senkrecht auf der Plattenebene stehen.

Es werden die Abstände des Meßmikroskops von einer im Plattenhalter eingelegten planen Spiegelglasplatte bei Drehung des Positionskreises in der Nähe der im Deckelrahmen des Plattenhalters eingesetzten drei Anschlagschrauben gemessen und durch Einstellen dieser Schrauben gleich gemacht. Bei Benutzung von Zeissschen Kassetten, bei denen die Platte nicht gegen drei Punkte, sondern gegen den ganzen Rahmen anliegt, sind die Auflageringe des Plattenhalters entsprechend abzustimmen.

Zur Messung der Abstände von der Plattenebene bzw. der Abstandsunterschiede verwendet man einen Tiefentaster, und zwar entweder einen mechanischen Tiefentaster, der in die Hülse des in die Mitte der Wange gestellten Meßmikroskops fest eingesteckt wird, oder als optischen Tiefentaster das mit einem stärkeren Objektiv versehene Meßmikroskop selbst, dessen Verschiebung bei Scharfeinstellung des Plattenkorns dem Abstandsunterschied an den Meßstellen entspricht. Mit dem mechanischen Tiefentaster läßt sich eine Genauigkeit von einigen Hundertstel Millimetern, mit dem optischen Tiefentaster eine solche von einigen $\mu$ erreichen; allerdings gehen bei allen Messungen die Fehler der Platte (Abweichungen von der planen Fläche und ungleiche Dicke der photographischen Schicht) in das Resultat ein.

d) Die Achse der Positionsdrehung muß senkrecht auf der Achse des großen Zylinders stehen.

Mit dem Tiefentaster wird der Abstand des Meßmikroskops von der Platte durch Bewegung des Plattenschlittens in der $y$-Richtung oben und unten festgestellt. Ist ein Unterschied vorhanden, so muß eine der Krallen des Plattenschlittens bzw. die eingesetzten Achatstücke entsprechend mehr ausgeschliffen werden.

e) Die Schlittenführung der Prismenwange muß parallel zur Plattenebene sein.

Mit dem Tiefentaster werden die Abstände des Meßmikroskops von der Platte am rechten und linken Ende der Prismenwange bestimmt und mit den Stellschrauben $v$ der Prismenwange einander gleich gemacht.

f) Die Achse des großen Zylinders muß rechtwinklig zur Prismenbahn stehen.

Zur Prüfung verwendet man eine photographische Platte, die in der Aufnahmekassette mit zwei Marken am Rande versehen worden ist, deren Verbindungslinie die $x$- oder $y$-Richtung der Aufnahme darstellt. Die Mitte zwischen beiden Marken gilt als Plattenmittelpunkt (Koordinatenursprung).

Eine solche Platte wird in den Plattenhalter eingelegt und durch Drehung des Positionskreises so gerichtet, daß die obere und die untere Marke im Meßmikroskop genau in der Mitte des Fadennetzes steht. Hierauf wird der Positionskreis genau um $90^0\,0'$ gedreht und die dann rechts befindliche Marke mit der $y$-Bewegung in die Mitte des Fadennetzes eingestellt. Zeigt die Einstellung der linken Marke dann noch eine Abweichung nach oben oder unten, so steht die Zylinderachse nicht rechtwinklig zur Prismenbahn. Mit den beiden Stellschrauben $w$ der Konsolenbefestigung auf der Grundplatte ist die rechtwinklige Lage dann herzustellen.

g) Bei jedem Plattenhalter muß der Plattenmittelpunkt (Mitte der Marken) mit dem Mittelpunkt des Positionskreises übereinstimmen.

Man dreht den Positionskreis so, daß die Marken oben und unten liegen, bestimmt $x$ und $y$ für beide Marken und aus ihrem Mittel $x$ und $y$ der Plattenmitte. Dann dreht man den Positionskreis um genau $180^0$ und bestimmt in gleicher Weise wieder $x$ und $y$ der Plattenmitte. Das Mittel beider Werte ergibt $x$ und $y$ des Mittelpunktes des Positionskreises. Stimmen beide Mittelpunkte nicht überein, so sind die seitlichen Anschlagflächen $\nu$ der Platte im Plattenrahmen entsprechend abzustimmen.

h) Untersuchung auf Führungsfehler.

$\alpha$) Führungsfehler bei der Bewegung des Plattenschlittens (Zylinderfehler).

In eine Metallplatte $24 \times 24$ cm² wurde längs ihrer Diagonale ein 5 mm breiter Schlitz eingefräst und in diesen Schlitz ein 25 cm langer Spinnfaden eingezogen. Die Platte wurde in zwei Lagen (Vorder- und Hinterfläche vertauscht) eingelegt und die Stellung des Spinnfadens unter Bewegung des Plattenschlittens von 10 zu 10 mm mit dem Meßmikroskop ausgemessen. Statt des gespannten Fadens (Spinn-, Quarz- oder Metallfaden) kann auch ein feiner Ätz- oder Diamantstrich auf einer Spiegelglasscheibe benutzt werden, der gleichfalls in den beiden Lagen zu vermessen ist. Für die Abweichung der Bewegung des Plattenschlittens von der Geradlinigkeit ergaben sich aus dem Mittel der Messungen in beiden Lagen die folgenden Werte, S. 459, für die Plattenmesser I und II.

$\beta$) Führungsfehler bei der Bewegung des Mikroskopschlittens (periodische und fortschreitende Fehler der Meßschraube und Fehler der Prismenwange).

Es wird in den Plattenrahmen eine vollkommen plane Spiegelglasscheibe eingesetzt und darauf längs ihrer Diagonale ein Glasstreifen aufgelegt, der durch den Rahmendeckel gehalten wird. Auf die Spiegelglasscheibe wird ferner eine Glasskala

gelegt, deren Strichebene vermittels dreier festgekitteter Unterlagscheibchen parallel zur Spiegelglasscheibe eingerichtet ist; diese Skala kann längs der plangeschliffenen Kante des Glasstreifens entweder mit Hand oder mittels einer auf dem Rahmendeckel aufgesetzten Leitspindel mit Gabel leicht verschoben werden. Die diagonale Lage im Plattenrahmen wurde gewählt, damit die Schraubenprüfung auf eine möglichst große Länge der Schraube ausgedehnt werden kann. Für die Schraubenprüfung erhält das Meßmikroskop mit Vorteil ein Objektiv von etwa 15 mm Brennweite.

Führungsfehler bei der Bewegung des Plattenschlittens.

| y-Skala | Plattenmesser. | | |
|---|---|---|---|
| | I | II | III[1] |
| 400 mm | − 0,2 μ | + 0,0 μ | − |
| 410 | − 0,2 | + 0,1 | + 0,1 μ |
| 420 | − 0,2 | − 0,2 | + 0,2 |
| 430 | − 0,2 | − 0,3 | − 0,1 |
| 440 | − 0,1 | 0,0 | + 0,1 |
| 450 | + 0,1 | 0,0 | − 0,2 |
| 460 | + 0,2 | 0,0 | − 0,1 |
| 470 | + 0,2 | − 0,2 | − 0,2 |
| 480 | + 0,1 | − 0,1 | − 0,1 |
| 490 | 0,0 | − 0,1 | − 0,3 |
| 500 | 0,0 | + 0,1 | − 0,4 |
| 510 | 0,2 | 0,0 | + 0,1 |
| 520 | − 0,1 | 0,0 | + 0,1 |
| 530 | + 0,1 | − 0,2 | + 0,3 |
| 540 | + 0,1 | − 0,1 | + 0,2 |
| 550 | + 0,1 | + 0,1 | + 0,1 |
| 560 | 0,0 | + 0,2 | + 0,2 |
| 570 | − 0,1 | + 0,2 | − 0,2 |
| 580 | − 0,2 | + 0,2 | − 0,2 |
| 590 | − 0,3 | − 0,1 | − 0,1 |
| 600 | − 0,2 | + 0,4 | − |

Bei der Untersuchung in der Werkstatt wurden für die Bestimmung der periodischen Fehler zwei Intervalle von 0,25 und 0,50 mm von 5 zu 5 Trommelteilen ausgemessen. Die Bestimmung wurde an folgenden 5 Stellen der Schraube mit je 5 Einstellungen jedes Striches ausgeführt: $110^R$, $155^R$, $200^R$, $245^R$, $290^R$.

Bei der Untersuchung auf fortschreitende Fehler der Schlittenbewegung, die sich aus Fehlern der Meßschraube und der Führungsbahnen der Wange zusammensetzen, wurde ein Intervall von 20 mm ausgemessen, und zwar wurden jedesmal 5 Einstellungen jedes Striches von Rev. 80 bis Rev. 320 ausgeführt.

Die Werkstattprüfung ergab folgende Werte:

Periodische Fehler der Meßschraube.
($1^R = 500^p$.)

| Index | Plattenmesser. | | |
|---|---|---|---|
| | I | II | III |
| $0^p$ | 0,0 μ | 0,0 μ | − 0,1 |
| 50 | 0,0 | 0,0 | − 0,1 |
| 100 | + 0,1 | 0,0 | 0,0 |
| 150 | + 0,1 | − 0,1 | 0,0 |
| 200 | + 0,1 | 0,0 | 0,0 |
| 250 | + 0,1 | 0,0 | + 0,1 |
| 300 | 0,0 | 0,0 | + 0,1 |
| 350 | − 0,1 | 0,0 | − 0,1 |
| 400 | − 0,1 | 0,0 | + 0,1 |
| 450 | − 0,1 | 0,0 | − 0,1 |

Die obigen Werte der periodischen Fehler aller drei Schrauben liegen innerhalb der Genauigkeit der Messung und können daher vernachlässigt werden.

[1] Nach Messungen auf der Sternwarte in Bonn mit gespanntem Quarzfaden.

Wie man aus nebenstehender Zusammenstellung ersieht, sind die fortschreitenden Fehler der Schlittenbewegung, die sich aus Fehlern der Meßschraube und der Führungsbahnen der Wange zusammensetzen, beim Plattenmesser II praktisch gleich null; beim Plattenmesser I erreichen sie eine Amplitude von 1,2 $\mu$, beim Plattenmesser III eine solche von 1,6 $\mu$.

Fortschreitende Fehler der Schlittenbewegung.

| Rev. | Plattenmesser. | | |
|---|---|---|---|
| | I | II | III |
| 100 | + 0,3 $\mu$ | 0,0 $\mu$ | + 0,7 $\mu$ |
| 120 | − 0,4 | + 0,2 | + 0,6 |
| 140 | − 0,5 | + 0,1 | + 0,6 |
| 160 | − 0,3 | 0,0 | − 0,1 |
| 180 | + 0,1 | − 0,1 | − 0,2 |
| 200 | 0,0 | − 0,2 | − 0,2 |
| 220 | + 0,2 | + 0,1 | − 0,4 |
| 240 | + 0,4 | + 0,2 | − 0,9 |
| 260 | + 0,6 | 0,0 | − 0,7 |
| 280 | + 0,7 | − 0,2 | − 0,1 |
| 300 | + 0,3 | − 0,1 | + 0,7 |

Die vorstehend beschriebenen Plattenmesser sind, abgesehen von der Teilung des Positionskreises und des Nickelmaßstabes sowie von der Optik, in allen Teilen in der Werkstatt unserer Sternwarte hergestellt worden.

Sternwarte Bergedorf, Februar 1930.

---

# Über farbfreie Kompensatoren für Interferenzrefraktometer.

Von

**G. Hansen** in Jena.

(Mitteilung aus den Werkstätten von Carl Zeiss-Jena.)

## 1. Zweck der Kompensatoren.

Unter einem Interferenzrefraktometer wird eine Vorrichtung verstanden, die es erlaubt, Änderungen des Wegunterschiedes zwischen zwei Lichtstrahlenbündeln durch Verschiebung von Interferenzstreifen zu beobachten. Bekannt sind die Interferometer in den Formen, die von Jamin[1], Michelson[2], Mach-Zehnder[3] und Lord Rayleigh[4] angegeben wurden.

Die beobachtete Interferenzerscheinung besteht im allgemeinen aus Streifen; die Streifenabstände sind für verschiedene Wellenlängen verschieden, sie verhalten sich wie die Wellenlängen. Beim Wegunterschied Null kann in weißem Licht eine Interferenzerscheinung beobachtet werden. Bei einem Wegunterschied von einigen Tausendstel Millimeter überlagern sich die von den verschiedenen Wellenlängen herrührenden Streifensysteme und können nur mehr durch nachträgliche spektrale Zerlegung sichtbar gemacht werden.

Soll das Brechungsvermögen einer Substanz gemessen werden, so kann man die Schichtdicke, in der das eine der interferierenden Lichtbündel die Substanz durchsetzt, in stetiger Weise so verändern, daß ein Abzählen der Interferenzstreifen in einfarbigem Licht während der Veränderung möglich ist. Der Zusammenhang zwischen Gangunterschied und Schichtdicke ist damit unmittelbar gegeben. Bei Gasen kann die stetige Veränderung durch allmähliches Verdrängen des Vergleichsgases durch das zu messende Gas geschehen. Bei Flüssigkeiten läßt sich die stetige Änderung der Schichtdicke in ähnlicher Weise bewirken, wie es bei den Kolorimetern der Dubosqschen Bauart

---

[1] J. Jamin, *Compt. Rend.* **42.** *S. 482. 1856.*

[2] A. A. Michelson, *Phil. Mag. (5).* **13.** *S. 236. 1882.*

[3] L. Mach, *diese Zeitschr.* **12.** *S. 89. 1892;* L. Zehnder, *diese Zeitschr.* **11.** *S. 275. 1892.*

[4] Lord Rayleigh, *Proc. Roy. Soc.* **59.** *S. 201. 1896.*

durch Eintauchen eines Glasstabes in die freie Flüssigkeitsoberfläche üblich ist. Diese Methode wurde von Borgesius[1] angewandt. Bei Flüssigkeiten kann der Ersatz einer bekannten durch die unbekannte Substanz auch durch Eintauchen von Glaskeilen in die Flüssigkeit erfolgen. Dieses Mittel ist anscheinend noch nicht angewandt worden.

Wenn der stetige Ersatz der unbekannten durch eine bekannte Substanz oder die stetige Änderung der Schichtdicke, die stets mit einem gewissen instrumentellen Aufwand verbunden ist, nicht angewandt werden soll, kann die zu untersuchende Substanz in einem Gefäß unveränderlicher Schichtdicke in den einen Strahlengang gebracht werden, während auf der anderen Seite mit Hilfe einer besonderen Vorrichtung die Weglänge des Lichtes in stetiger Weise so lange verändert wird, bis der Unterschied zwischen den beiden Lichtwegen für alle Wellenlängen verschwunden ist. In diesem Falle wird im weißen Licht eine Interferenzerscheinung sichtbar, die das Einstellen auf den Wegunterschied Null ermöglicht. Vorrichtungen, die eine stetige und meßbare Änderung des Lichtweges ermöglichen, nennen wir Kompensatoren. Die Wirkung des Kompensators ist nur dann vollkommen, wenn er den zu messenden Wegunterschied für alle Wellenlängen gleichzeitig aufhebt[2]. Diese Bedingung vermag ein Kompensator im allgemeinen nur für eine Substanz zu erfüllen. Erfüllt der Kompensator die Bedingung nicht, fallen also die Interferenzstreifen verschiedener Wellenlängen mit dem Gangunterschied Null nicht genau zusammen, so erscheint der Streifen farbig, der bei vollkommener Kompensation als einziger weiß aussehen würde. Im allgemeinen gibt es dann in der Nähe des Nullstreifens einen solchen mit von Null verschiedenem Gangunterschied, der nahezu farblos ist. Bei Benutzung eines nicht farbfreien Kompensators wird bei der Messung durch Einstellung auf einen falschen Streifen ein Fehler begangen. Die Größe der Verschiebung des farbfreien Streifens kann man dadurch ermitteln, daß man die Schichtdicke der zu messenden Substanz entweder stetig oder in genügend kleinen Stufen verändert. Aus der Größe der Verschiebung kann man einen Schluß auf die Farbenzerstreuung der Substanz ziehen, wenn die Dispersionseigenschaften der Kompensationsvorrichtung bekannt sind (Hallwachs)[3].

Das Ziel dieser Arbeit ist die Untersuchung der Dispersionseigenschaften verschiedener Kompensationsvorrichtungen und der Mittel, die zur Herstellung von Kompensatoren mit bestimmten, vorgegebenen Dispersionseigenschaften bestehen.

## 2. Die Arten der Kompensatoren und die Abhängigkeit des Gangunterschiedes von der abgelesenen Größe.

a) Ein einfaches Mittel, den Gangunterschied des Lichtes zu verändern, besteht in der Verwendung von Gaskammern mit Gasfüllungen von veränderlichem Druck. Dieser Druckkompensator wurde wohl zuerst von Lord Rayleigh angegeben und in einer Reihe von Arbeiten über die Dispersion der Edelgase (Ramsay, Travers)[4] benutzt. Eine ausführliche Beschreibung seiner Eigenschaften findet sich auch bei Valentiner und Zimmer[5]. Da die Vorrichtung in technischen Interferometern heute

[1] Borgesius, *Ann. d. Phys.* **54.** *S. 221. 1895.*

[2] Vgl. hierzu: K. Marc, *Chemiker-Zeitg. 1912, S. 537;* S. Valentiner und O. Zimmer, *Verhandlg. d. D. Physikal. Ges.* **15.** *S. 1301. 1913;* R. Gans und M. Bose, *diese Zeitschr.* **36.** *S. 137. 1916;* W. Barth, *Zeitschr. f. wiss. Phot.* **24.** *S. 145. 1926;* Tätigkeitsbericht der Phys.-Techn. Reichsanstalt für das Jahr 1929 unter Nr. 78, *diese Zeitschr.* **50.** *S. 244. 1930.*

[3] W. Hallwachs, *Ann. d. Phys.* **47.** *S. 380. 1892* und Gans und Bose a. a. O. auf S. *145.*

[4] W. Ramsay und M. W. Travers, *Proc. Roy. Soc.* **62.** *S. 225. 1898; Zeitschr. f. physikal. Chem.* **25.** *S. 100. 1898;* E. H. C. Cunaeus, *Zeitschr. f. physikal. Chem.* **36.** *S. 232. 1901.*

[5] A. a. O. auf *S. 1302.*

nicht mehr benutzt wird, wollen wir sie außerhalb des Kreises unserer Betrachtungen lassen.

b) Häufig wurde eine von Jamin[1] 1858 angegebene Vorrichtung benutzt, die den Vorzug großer Anpassungsfähigkeit besitzt. Der Jaminsche Kompensator besteht aus zwei genau gleich dicken Glasplatten, die auf einer gemeinsamen Achse drehbar befestigt sind. Die eine Platte steht im einen, die andere im anderen Strahlengang des Interferometers. Die gemeinsame Drehachse liegt senkrecht zur Lichtrichtung. Wenn beide Platten um einen kleinen Winkel gegeneinander geneigt sind, so ruft eine Drehung des ganzen Systems eine Wegdifferenz hervor, die in erster Näherung dem Winkel zwischen den Platten und, nahe an der Stellung senkrecht zum Strahl, auch dem ganzen Drehwinkel proportional ist. Die Empfindlichkeit der Vorrichtung läßt sich in weiten Grenzen verändern. Bezeichnen wir die Dicke der Platten mit $D$, den Brechungsindex mit $n$, die Winkel, welche die Lichtrichtung mit der Plattennormalen bildet, mit $\varphi$ und $\varphi + \delta$, so ist die vom Kompensator erzeugte Wegdifferenz

$$G = D \cdot \left[\left(\sqrt{n^2 - \sin^2\varphi} - \sqrt{n^2 - \sin^2(\varphi + \delta)} - (\cos\varphi - \cos(\varphi + \delta)\right)\right].$$

Für kleine $\delta$ kann man dafür schreiben

$$G = D \cdot \delta \cdot \sin\varphi \left(1 - \frac{1}{\sqrt{n^2 - \sin^2\varphi}}\right). \qquad 1)$$

Herr Prof. Bauersfeld machte die Beobachtung, daß man bei geeigneter Wahl des Brechungsexponenten eine weitgehende Proportionalität des Wegunterschiedes mit dem tangens des Kippwinkels erreichen kann. Die von Bauersfeld angestellten Rechnungen zur Auffindung des geeigneten Wertes von $n$ sollen hier nicht ausführlich wiedergegeben werden. In Tabelle 1 ist für Werte des Kippwinkels bis 25° die Differenz $(c \cdot \operatorname{tang}\varphi - G)$ für ein geeignet gewähltes $c$ wiedergegeben, wie sie sich bei $n = 1{,}5725$ erreichen läßt. Benutzt man die Vorrichtung nur bis $\varphi = 23^0$, so bleibt die relative Abweichung von der Proportionalität mit $\operatorname{tang}\varphi$ unter $4 \cdot 10^{-5}$. Die Richtigkeit des rechnerischen Ergebnisses wurde an einem Kompensator geprüft, bei welchem die Neigung der Platten durch den bekannten Mechanismus der Tangentenschraube bewirkt wurde. Die zahlenmäßige Wiedergabe der Beobachtungsresultate erübrigt sich, da eine Abweichung von der Linearität der Eichkurve des Kompensators durch Auszählen der Interferenzstreifen für drei Farben nicht beobachtet werden konnte. Das Prinzip des Jaminschen Kompensators bietet also bei geeignet gewähltem Glas die Möglichkeit zum Bau einer Vorrichtung, bei der die abgelesene Größe über mehrere hundert Wellenlängen der Wegdifferenz merklich proportional ist.

Tabelle 1.

| $\varphi$ | $\sin\varphi \cdot \left(1 - \frac{\cos\varphi}{\sqrt{n^2 - \sin^2\varphi}}\right)$ | $10^5 \times$ Differenz gegen $0{,}3643 \cdot \operatorname{tang}\varphi$ | Relative Abweichung $\times 10^5$ |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 0,031859 | + 1,4 | + 4,4 |
| 10 | 0,064228 | + 0,9 | + 1,4 |
| 15 | 0,097637 | − 2,3 | − 2,3 |
| 20 | 0,13262 | − 3,0 | − 2,3 |
| 25 | 0,16974 | + 14 | + 6,7 |

c) Eine Abart des Jaminschen Kompensators, die sich in der mechanischen

[1] J. Jamin, *Ann. d. Chim. et Phys.* **52.** *S. 163. 1858.*

Ausführung durch besondere Einfachheit auszeichnet, stellt der von F. Löwe[1] 1910 eingeführte Kompensator mit einer gedrehten und einer festen Platte dar. Allerdings darf hier der Kippwinkel nur wenige Grad betragen. In der Nullstellung stehen die beiden gleich dicken Platten des Kompensators parallel. In den technischen Interferometern nach Rayleigh-Löwe-Haber, die seit 1910 von Carl Zeiss, Jena, hergestellt werden, wurde der Löwe-Kompensator mit einem Kippwinkel von etwa $8^0$ und einer Nullstellung bei etwa $35^0$ eingebaut. Der Wegunterschied ist hier durch eine Formel wie Gl. 1) gegeben, wenn $\delta$ jetzt der veränderliche Kippwinkel der bewegten Platte, $\varphi$ die Stellung der festen Platte bedeuten. Hier besteht keine vollkommene Proportionalität mit der abgelesenen Größe, dem tang $\varphi$. An den Grenzen des Kippbereiches ist unter den angegebenen Verhältnissen der Wert von $\frac{dG}{d\delta}$ um etwa 18% verschieden.

d) Wird ein spitzer Glaskeil etwa parallel zu einer seiner Begrenzungsflächen und etwa senkrecht zum Lichtweg bewegt, so ändert sich der Wegunterschied in leicht ersichtlicher Weise genau proportional mit der Verschiebung[2]. Auf diese Vorrichtung wird erneut in dem auf S. 461 zit. Tätigkeitsbericht der Phys.-Techn. Reichsanstalt hingewiesen. Wir sind Herrn Direktor Kösters, der den Inhalt des Berichtes über die betr. Arbeiten frühzeitig zu unserer Kenntnis brachte, für sein freundliches Entgegenkommen zu Dank verpflichtet. Wir werden diesen Köstersschen Kompensator, der einige wertvolle Eigenschaften besitzt, im folgenden noch eingehender behandeln. Der Köstersche Kompensator besteht aus drei Teilen. In dem einen Lichtweg befindet sich der verschiebbare Keil mit einem Gegenkeil von gleichem Winkel, der den ersten zu einer Planplatte ergänzt; im anderen Lichtweg ist eine Planplatte angeordnet, deren Dicke mindestens gleich der Basis des Gegenkeiles ist. Alle drei Teile bestehen aus gleichem Material.

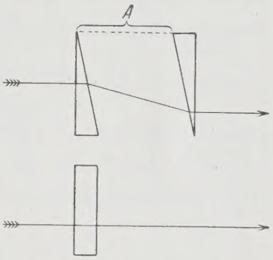


Abb. 1. Kompensator nach R. Richter.

e) Eine für Interferometer neuartige Einrichtung hat Herr R. Richter, wissenschaftlicher Mitarbeiter der Zeisswerke, angegeben, die hier nach seiner mündlichen Mitteilung beschrieben wird. In dem einen Lichtweg stehen zwei gleiche entgegengesetzt gerichtete Keile, im anderen Lichtweg ist eine Planplatte angebracht, deren Dicke gleich der Keilbasis ist. Mit den Bezeichnungen der Abb. 1 ist der von dieser Vorrichtung erzeugte Wegunterschied

$$-G = A \cdot \left[(n-1) - n \cdot \cos^2\varphi + \cos\varphi \sqrt{1 - n^2 \sin^2\varphi}\right].$$

Wird der Abstand $A$ zwischen den Keilen verändert, so ändert sich der Wegunterschied genau proportional mit $A$, er nimmt auf der Seite der Keile mit wachsendem $A$ ab. Es wird sich später zeigen, daß der Richtersche Kompensator Eigenschaften aufweist, die von denen der anderen Vorrichtungen wesentlich verschieden sind.

### 3. Die Bedingung für Achromasie.

Zur Untersuchung der Dispersionseigenschaften der Kompensatoren ist es zunächst notwendig, ein geeignetes Maß zur Beschreibung dieser Eigenschaft zu wählen. Betrachten wir den folgenden einfachen Fall. Durch zwei Flüssigkeiten von verschiedenem

[1] F. Haber und F. Löwe, *Zeitschr. f. angew. Chem.* **23.** *S. 1393. 1910;* F. Löwe, *diese Zeitschr.* **10.** *S. 321. 1910; Physikal. Zeitschr.* **11.** *S. 1047. 1910.*

[2] Vgl. F. Löwe, *diese Zeitschr.* **10.** *S. 321. 1910. (s. S. 323.)*

Brechungsvermögen ($n_2 > n_1$) soll im Interferometer ein Wegunterschied erzeugt werden. Die Flüssigkeiten befinden sich in zwei Kammern gleicher Länge $l$, deren jede von einem der interferierenden Strahlen durchsetzt wird. Der Wegunterschied soll durch Einfügen einer ebenen Glasplatte auf der Seite der Flüssigkeit mit geringerem Brechungsvermögen aufgehoben werden. Die Platte soll senkrecht zum Strahl stehen, ihre Dicke sei $D$, ihr Brechungsvermögen $n$. Soll der Wegunterschied für zwei Farben verschwinden, so müssen die folgenden Beziehungen erfüllt sein:

$$l(n_2 - n_1) - (n-1)d = 0,$$
$$l(n_2' - n_1') - (n'-1)d = 0.$$

Subtrahieren wir die Gleichungen und dividieren das Resultat in die erste, so erhalten wir eine Beziehung zwischen den Brechungsexponenten allein, in welcher Kammerlänge und Glasdicke nicht mehr vorkommen:

$$\frac{n_2 - n_1}{\Delta n_2 - \Delta n_1} - \frac{n-1}{\Delta n} = 0.$$

Der Ausdruck $\frac{n-1}{\Delta n}$ ist in der rechnenden Optik als reziproker Wert der relativen Dispersion gebräuchlich zur Kennzeichnung der Dispersionseigenschaften der Gläser und wird mit $\nu$ bezeichnet. Wir erkennen also, daß zur Aufhebung des Gangunterschiedes in unserem Falle ein Glas genommen werden muß, dessen $\nu$ gleich $\frac{n_2 - n_1}{\Delta n_2 - \Delta n_1}$ der Flüssigkeiten ist. — Bei verdünnten Lösungen ist die Differenz des Brechungsvermögens zwischen Lösung und Lösungsmittel annähernd proportional mit der Konzentration. In diesem Falle ist also auch der Wert von $\frac{n_2 - n_1}{\Delta n_2 - \Delta n_1}$ in weiten Grenzen nahezu konstant. — Um zu einer allgemein gültigen Beziehung zu gelangen, bezeichnen wir den durch die zu messende Substanz erzeugten Wegunterschied mit $G_1$, den von der Kompensationsvorrichtung erzeugten mit $G_2$. Dann muß gelten:

$$G_2 - G_1 = 0. \qquad 2)$$

$$G_2 + \frac{\partial G_2}{\partial \lambda} \cdot \Delta\lambda - G_1 - \frac{\partial G_1}{\partial \lambda} \cdot \Delta\lambda = 0,$$

oder

$$\frac{\partial G_2}{\partial n} \cdot \Delta n - \frac{\partial G_1}{\partial n} \cdot \Delta n = 0. \qquad 3)$$

Durch Division von 3) in 2) erhalten wir eine Größe von der Dimension einer reinen Zahl:

$$\frac{G_2}{\frac{\partial G_2}{\partial n} \cdot \Delta n} = \frac{G_1}{\frac{\partial G_1}{\partial n} \cdot \Delta n},$$

und für den Fall zweier gleich langer Kammern

$$\frac{G_2}{\frac{\partial G_2}{\partial n} \Delta n} = \frac{n_2 - n_1}{\Delta n_2 - \Delta n_1}. \qquad 4)$$

Im folgenden wird der Wert von $\frac{G}{\frac{\partial G}{\partial n} \Delta n} = \nu^*$ als der reziproke Wert der wirksamen

relativen Dispersion der Kompensationsvorrichtung bezeichnet. Gl. 4) ist die allgemeine Form für die Achromasiebedingung[1] einer beliebigen Kompensationsvorrichtung und dient weiterhin zur Untersuchung der Dispersionseigenschaften verschiedener Kompensatoren.

### 4. Dispersionseigenschaften einiger Kompensatoren.

a) Eine einzelne gegen die Lichtrichtung um den festen Winkel $\varphi$ geneigte Platte von der Dicke $D$ und vom Brechungsvermögen $N$, die sich in einem Medium vom Brechungsvermögen $n$ befindet, erzeugt die Wegdifferenz

$$G = D\left[\sqrt{N^2 - n^2\sin^2\varphi} - n\cos\varphi\right].$$

Für $\nu^*$ ergibt sich daraus

$$\nu^* = \frac{\sqrt{N^2 - n^2\sin^2\varphi} - n\cos\varphi}{\Delta N \cdot \frac{N}{\sqrt{\ }} - \Delta N\left(\frac{n\sin^2\varphi}{\sqrt{\ }} + \cos\varphi\right)} \qquad 5)$$

eine Formel, die später benutzt werden wird. Für $n = 1$ folgt:

$$\nu^* = \sqrt{N^2 - \sin^2\varphi} \cdot \frac{\sqrt{N^2 - \sin^2\varphi} - \cos\varphi}{\Delta n \cdot n},$$

oder

$$\nu^* = \nu_0 \cdot \frac{\sqrt{\ }\,(\sqrt{\ } - \cos\varphi)}{N(N-1)}. \qquad 6)$$

Hier bedeutet $\nu_0 : \frac{N-1}{\Delta N}$ den Wert, der für $\varphi \to 0$ erreicht wird. In Tabelle 2 sind einige Werte angeführt, aus denen für $N = 1{,}62$ die Abhängigkeit des $\nu^*$ vom Kippwinkel hervorgeht.

Tabelle 2.

| $\varphi$ | $\nu^*$ |
|---|---|
| 0 | 36,30 |
| 10 | 36,43 |
| 20 | 36,85 |
| 30 | 37,59 |
| 40 | 38,76 |
| 50 | 40,47 |

b) Für zwei Platten von gleicher Dicke und aus gleichem Material, die unter den Winkeln $\varphi_1$ und $\varphi_2$ benutzt werden, ergibt sich für $\nu^*$ der folgende Ausdruck:

$$\nu^* = \frac{\sqrt{N^2 - \sin^2\varphi_2} - \sqrt{N^2 - \sin^2\varphi_1} - \cos\varphi_2 + \cos\varphi_1}{\Delta N \cdot N \cdot \frac{\sqrt{N^2 - \sin^2\varphi_1} - \sqrt{N^2 - \sin^2\varphi_2}}{\sqrt{N^2 - \sin^2\varphi_1}\,\sqrt{N^2 - \sin^2\varphi_2}}}.$$

Bilden beide Platten nur den kleinen Winkel $\varphi_2 - \varphi_1 = \delta$ miteinander, so wird $\nu^*$ von $\delta$ unabhängig:

$$\nu^* = \nu_0 \cdot \frac{\sqrt{N^2 - \sin^2\varphi}\,(\sqrt{\ } - \cos\varphi)}{N(N-1)} \cdot \frac{\sqrt{N^2 - \sin^2\varphi}}{\cos\varphi}. \qquad 7)$$

Hier ist $\varphi$ für $\frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}$ geschrieben. Man erkennt, daß 7) von der für die einzelne Platte geltenden Formel nur durch den Faktor $\frac{\sqrt{\ }}{\cos\varphi}$ verschieden ist. Für verschwindende $\varphi$ ergibt sich der kleinste Wert, den das $\nu^*$ des Jamin-Kompensator annehmen kann:

$$\nu^* = \nu_0 \cdot N. \qquad 8)$$

Man beachte, daß der unter a) behandelte Fall, der einer einzelnen unter festgehaltenem Winkel in den einen Strahl gebrachten Platte ist. Unter b) dagegen wird die Wirkung eines Kompensators aus zwei Platten diskutiert, wobei entweder der Winkel zwischen

[1] Zuerst bei Valentiner und Zimmer auf *S. 1308* a. a. O. S. 461.

den Platten oder der mittlere Winkel beider Platten verändert wird. Dieser Fall b) umfaßt also sowohl den Löwe-Kompensator ($\varphi = \text{const}$) wie den Jamin-Kompensator ($\delta = \text{const}$). Der Löwe-Kompensator besitzt demnach ein nahezu konstantes $\nu^*$, während sich das $\nu^*$ des Jamin-Kompensators in erheblichem Maße mit $\varphi$ ändert.

c) Bei dem Keilkompensator nach Kösters ist der Wegunterschied einfach der jeweiligen Glasdicke und dem um die Einheit verminderten Brechungsexponenten proportional. Der Keil besitzt also stets genau das $\nu$ des Glases, aus dem er angefertigt ist. Will man einen Kompensator mit einem bestimmten $\nu^*$ herstellen, so wird man im allgemeinen keine Glassorte finden können, die genau die gewünschten Eigenschaften besitzt. In dem oben zit. Tätigkeitsbericht der Phys.-Techn. Reichsanstalt ist darauf hingewiesen, daß man in einem solchen Falle ein Glas mit einem etwas zu niedrigem $\nu$ wählen und durch Neigen des Keiles gegen die Lichtrichtung das gewünschte $\nu^*$ erzielen kann. Aus Gl. 6) folgt sofort der Winkel, um den man den Keil neigen muß, wenn das Glas den Wert $\nu_0$ besitzt und die ganze Vorrichtung den Wert $\nu^*$ ergeben soll. Es ist

$$\sin^2\varphi = \frac{n^2 - B^2}{2B + n^2 + 1}; \qquad B = n^2\left(\frac{\nu^*}{\nu_0} \cdot \frac{n-1}{n} - 1\right).$$

d) Für den Kompensator nach Richter (Abb. 1) erhält man wegen der etwas verwickelteren Abhängigkeit des Wegunterschiedes vom Keilwinkel einen ziemlich übersichtlichen Ausdruck für die wirksame reziproke Dispersion:

$$\nu^* = \frac{n - 1 - \cos^2\varphi\left(n - \dfrac{\sqrt{1 - n^2\sin^2\varphi}}{\cos\varphi}\right)}{\Delta n\left(1 - \cos^2\varphi - \dfrac{n\sin^2\varphi\cdot\cos\varphi}{\sqrt{1 - n^2\sin^2\varphi}}\right)}.$$

Bei kleinen Winkeln $\varphi$ ist jedoch die Abhängigkeit des $\nu^*$ von $\varphi$ nur gering. Gehen wir zu $\varphi \rightarrow 0$ über, so ergibt sich die einfache Beziehung

$$\nu^* = \frac{\nu_0}{2}. \qquad 9)$$

Dieses Ergebnis gewinnt eine besondere Bedeutung, wenn wir uns vergegenwärtigen, welche Wertebereiche von $\nu^*$ sich mit den verschiedenen Kompensatoren verwirklichen lassen. Die optischen Gläser, aus denen man Kompensatoren herstellen kann, liegen zwischen $n = 1{,}49$ ($\nu = 70$) und $n = 1{,}80$ ($\nu = 25$). Dementsprechend liegen die $\nu^*$ der verschiedenen Kompensatorkonstruktionen in folgenden Bereichen:

| | |
|---|---|
| Jamin-Löwe: | 45—100, |
| Kösters: | 25—70, |
| Richter: | 13—35. |

Es ist bei der großen Mannigfaltigkeit der Substanzen, bei denen das Bedürfnis nach interferometrischer Konzentrationsbestimmung besteht, nicht leicht, einen Überblick darüber zu gewinnen, welche Werte von $\nu$ am häufigsten gebraucht werden. Betrachten wir zunächst die einfachsten anorganischen Salze, so zeigt sich, daß der Kompensator nach Jamin und Löwe für eine sehr große Zahl von Substanzen ein genügend niedriges $\nu^*$ nicht zu erreichen gestattet. Selbst bei dem Köstersschen Kompensator, der in dieser Hinsicht schon viel günstiger abschneidet, gibt es noch eine Reihe von Salzen mit zu niedrigem $\nu$ (NaBr, $Sr_2Br$, LiBr, $LiNo_3$, $KNO_3$, $NaNO_3$, $NH_4NO_3$ auch HCl). In allen diesen Fällen ist der Richtersche Kompensator ohne weiteres an-

wendbar. — In einem späteren Abschnitt soll gezeigt werden, wie sich der Meßbereich speziell des Jamin-Kompensators durch Verwendung verschiedener Glassorten erweitern läßt. Hier wird zunächst eine genauere Betrachtung über das Verhalten der Interferenzerscheinung bei mangelhafter Achromasie des Kompensators eingeschaltet.

### 5. Die Wanderung des Nullstreifens.

Die Beobachtungsvorrichtung des von uns zu betrachtenden Interferometers soll so beschaffen sein, daß, wenn die interferierenden Strahlen für alle Farben genau gleiche Wege zurücklegen, in der Mitte des Gesichtsfeldes ein heller farbloser Streifen entsteht, der dem Gangunterschied Null entspricht. Zu beiden Seiten des Nullstreifens sind dann Streifen zu sehen, die mit wachsender Entfernung von der Mitte des Gesichtsfeldes in zunehmendem Maße farbig werden. — Bringen wir in den Strahlengang Kammern der Länge $l$ mit den Füllungen $n_2$ und $n_1$, ferner einen Kompensator, der den Wegunterschied $G$ erzeugt, so bedeutet

$$l\,(n_2 - n_1) - G = p \cdot \lambda\,,$$

wenn $p$ eine ganze Zahl ist, daß genau in der Mitte des Gesichtsfeldes ein heller Streifen der Wellenlänge $\lambda$ von der Ordnungszahl $p$ liegt. Wir betrachten zwei Wellenlängen und nennen den Kompensator achromatisch von erster Ordnung, wenn gleichzeitig für zwei geeignet gewählte Wellenlängen $p = 0$ ist. Ist $p$ an der Stelle, an welcher es für die beiden Wellenlängen gleich ist, von Null verschieden, aber gleich einer ganzen Zahl, so liegt eine Verschiebung des farbfreien Streifens um $p$ Streifen vor. Diese Erscheinung ist seit langem bekannt und in den oben zitierten Arbeiten von Hallwachs, Valentiner und Zimmer, Gans und Bose und in der von Barth richtig gedeutet worden. Wir wollen nun untersuchen, in welcher Weise die Streifenverschiebung bei verschiedenen Kompensatoren von den abgelesenen Größen abhängt. Wir haben für zwei Wellenlängen:

$$(n_2 - n_1)\,l - G = p\,\lambda\,,$$
$$(n_2' - n_1')\,l - G' = p\,\lambda'$$

als Bedingung dafür, daß in der Gesichtsfeldmitte ein farbfreier Streifen der Ordnungszahl $p$ auftritt. Durch Subtraktion und Division erhält man daraus

$$\nu^* = \frac{l\,(n_2 - n_1) - p\,\lambda}{l(\varDelta\,n_2 - \varDelta\,n_1) - p\,(\lambda' - \lambda)}.$$

Nennen wir wie früher $\nu = \dfrac{n_2 - n_1}{\varDelta\,n_2 - \varDelta\,n_1}$ und $h$ die Zahl der kompensierten Streifen einer mittleren Wellenlänge, so bekommen wir

$$p = -h \cdot \frac{\nu^* - \nu}{\nu^*} \cdot \frac{1}{1 + \nu \cdot \dfrac{\lambda - \lambda'}{\lambda}} \qquad 10)$$

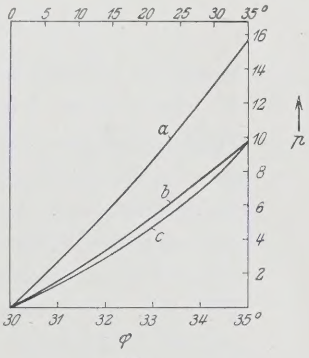


Abb. 2.

In dieser Gleichung sind die Größen $h$ und $\nu^*$ als variabel abhängig von der am Kompensator abgelesenen Größe (Verschiebung oder Kippwinkel) aufzufassen. Tragen wir den rechtsstehenden Ausdruck für irgend einen Kompensator als Funktion der abgelesenen Größe auf, so liegt überall dort, wo $p$ den Wert einer ganzen Zahl annimmt, eine Stelle von Achromasie erster Ordnung. In Abb. 2 sind die Kurven für drei Fälle aufgetragen:

a) Löwe-Kompensator aus einem leichten Kronglas, b) Löwe-Kompensator aus schwerstem Flint, c) Jamin-Kompensator aus schwerstem Flint. Der Kippbereich beträgt beim Löwe-Kompensator $30^0 - 35^0$, beim Jamin-Kompensator $0 - 35^0$ mit $5^0$ zwischen den Platten. Die Gesamtzahl der Sprünge ist also bei Verwendung des gleichen Glases und unter der Voraussetzung des gleichen Gangunterschiedes für eine mittlere Wellenlänge bei Löwe- und Jamin-Kompensator die gleiche. Beim Jamin-Kompensator variieren die Periodenlängen in etwas stärkerem Maße wegen der starken Änderung des $\nu^*$.

### 6. Erweiterung des „natürlichen“ Dispersionsbereiches.

Läßt sich mit Hilfe der vorhandenen optischen Gläser bei einer gegebenen Kompensatorform das notwendige $\nu^*$ nicht erreichen, so muß man nach Mitteln suchen, durch Kombination verschiedener Glassorten in einem Kompensator den „natürlichen“ Dispersionsbereich zu erweitern. Wie man eine geringe Veränderung des $\nu^*$ durch Neigen beim Keilkompensator nach dem Vorschlag von Herrn Kösters erreichen kann, ist auf S. 466 schon hervorgehoben worden. Wir gehen hier auf diesen Kompensator nicht näher ein. Er wird vermutlich von Herrn Kösters noch in einer ausführlichen Veröffentlichung beschrieben werden. Zur Zeit der Niederschrift dieser Arbeit lagen mir Resultate von Herrn Kösters noch nicht vor. In diesem Abschnitt sollen lediglich die Drehkompensatoren behandelt werden.

Beim Drehkompensator, dessen natürlicher Dispersionsbereich zwischen 45 und 100 liegt, wird häufig der Fall eintreten, daß die Dispersion zu gering ist. Stellt man den Kompensator also für Rot ein, so erzeugt er für Blau einen zu geringen Gangunterschied. Es ist nun leicht möglich, eine Vorrichtung zu machen, die eine mittlere Wellenlänge unverändert läßt, während sie für Rot eine Verringerung, für Blau eine Vergrößerung des Wegunterschiedes bewirkt. Die Wirkung ändert sich beim Drehen und verschwindet in einer gewissen Stellung vollständig. Wir wollen eine solche Vorrichtung als „Dispersionskompensator“ bezeichnen. An Hand der schematischen Abb. 3 sei die Einrichtung beschrieben. Die Platten $P_1$ und $P_2$ bilden einen Jamin-Kompensator, der Winkel zwischen den Platten ist $\delta$. Die Platten bestehen aus gleichem Material und sind gleich dick. Der Dispersionskompensator wird durch die Platten $F_1\,K_1\,F_2\,K_2$ gebildet, die entsprechend der Abbildung angeordnet sind. Es stehen $F_1$ mit $K_2$ parallel, ebenso $K_1$ mit $F_2$. Beide Plattenpaare sind um den Winkel $\alpha$ gegeneinander geneigt. Alle vier Platten des Dispersionskompensators besitzen gleiche Dicke. $K_1$ und $K_2$ bestehen aus Kronglas, $F_1$ und $F_2$ dagegen aus Flintglas. Die Glassorten sind so ausgewählt, daß ihre Brechungsexponenten für eine mittlere Wellenlänge übereinstimmen, ihre Dispersionen aber möglichst verschieden sind. Wenn der Winkel $\alpha$ durch die Senkrechte auf die Lichtrichtung halbiert wird, ist die Wirkung des Dispersionskompensators aus Symmetriegründen für alle Wellenlängen gleich Null. Neigt man aber den ganzen Kompensator, so wird der Wegunterschied für Blau im entgegengesetzten Sinne beeinflußt, wie der für Rot, während eine mittlere Wellenlänge stets unbeeinflußt bleibt. Es läßt sich leicht mechanisch so einrichten, daß beim

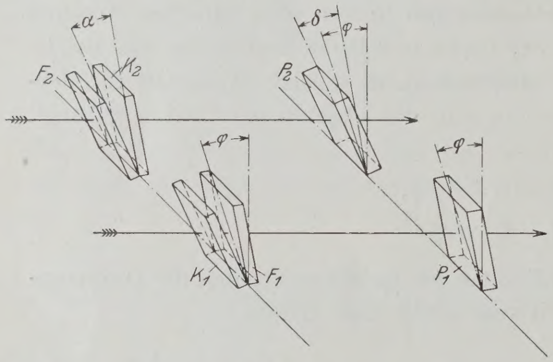


Abb. 3.

Kippen des Jamin-Kompensators der Dispersionskompensator um den gleichen Winkel mitgedreht wird. Dann verändert der Dispersionskompensator das $\nu^*$ des Jamin-Kompensators desto stärker, je größer $\alpha$ ist. Macht man den Winkel veränderlich, so haben wir eine Kompensationsvorrichtung mit stetig veränderlichem $\nu^*$. Es seien einige Zahlen angeführt, aus denen sich die erreichbaren Effekte entnehmen lassen.

Ein Jamin-Kompensator, für einen Meßbereich von 100 $\lambda$ Rot aus Platten von 1,5 mm Dicke mit einem $\delta = 10^0$ und einem Kippwinkel von 0 — 23$^0$ soll zur Messung von NaCl-Lösungen geeignet gemacht werden. Das $\nu^*$ des Kompensators ist etwa 45, gebraucht wird aber etwa 28. Der Dispersionskompensator besteht aus vier Platten von 3,5 mm Dicke. Bei $\alpha = 20^0$ ist das gesamte $\nu^*$ der ganzen Vorrichtung etwa 26. Rechnet man für diese Vorrichtung die Abweichungen aus, die zwischen der Wirkung des kombinierten Kompensators und dem durch die Flüssigkeiten (Wasser — Salzwasser) erzeugten Gangunterschied besteht, so ergeben sich für die drei Wellenlängen 6563, 5461 und 4359 Å.-E. Abweichungen von höchstens 0,17 Streifenbreiten. Die Vorrichtung ist also praktisch vollkommen achromatisch. — Wenn der beschriebene Kompensator auch den erheblichen Vorteil der in weiten Grenzen stetig veränderlichen Dispersion (25—45) aufweist, so ist er doch ziemlich kompliziert gebaut. Wenn es sich nur darum handelt, einen bestimmten Wert von $\nu^*$ zu erreichen, ist es möglich, den Aufwand an Mitteln erheblich zu reduzieren. Während bisher drei Glassorten und sechs Platten benutzt wurden, kann man bei fester Einstellung der Dispersion mit zwei Glassorten und vier Platten auskommen. Dieser Vierplattenkompensator ähnelt in der Anordnung dem Dispersionskompensator, nur sind die vorher mit $F$ und $K$ bezeichneten Plattenpaare nicht mehr gleich dick. Die Glassorten müssen anders gewählt werden, und zwar werden jetzt möglichst verschieden stark zerstreuende Gläser benutzt. Die Dispersionswirkung des Vierplattenkompensators ist, wie die rechnerische Behandlung zeigt, bei gegebenen Glassorten im wesentlichen vom Verhältnis der Plattendicken abhängig. Man erhält nämlich mit einer kleinen Vereinfachung für das Dickenverhältnis

$$\frac{D_2}{D_1} = \frac{\sqrt{n_2^2 - \sin^2\varphi} + B \cdot N - \sqrt{n_1^2 - \sin^2\varphi}\,\sqrt{n_2^2 - \sin^2\varphi} \cdot \cos\varphi}{\sqrt{n_1^2 - \sin^2\varphi} + A \cdot N - \sqrt{n_1^2 - \sin^2\varphi}\,\sqrt{n_2^2 - \sin^2\varphi} \cdot \cos\varphi}$$

mit den folgenden Abkürzungen

$$A = \frac{n_2}{n_1 - 1} \cdot \frac{1}{\nu_2} \cdot \frac{\sqrt{n_1^2 - \sin^2\varphi}}{n_2^2 - \sin^2\varphi}, \qquad B = \frac{n_1}{n_2 - 1} \cdot \frac{1}{\nu_1} \cdot \frac{\sqrt{n_2^2 - \sin^2\varphi}}{n_1^2 - \sin^2\varphi},$$

$$N = \nu^* (n_1 - 1)(n_2 - 1).$$

Hierin bedeuten: $\nu^*$ das gewünschte $\nu$ des Kompensators, $\nu_1$ und $\nu_2$ die entsprechenden Werte für die benutzten Gläser, $n_1$ und $n_2$ die mittleren Brechungsexponenten der Gläser. $\varphi$ ist der mittlere Neigungswinkel der beiden Platten gegen die Senkrechte zur Lichtrichtung. Zur näherungsweisen Berechnung kann die Formel noch weiter vereinfacht werden, indem man zu $\varphi \to 0$ übergeht. Dann erhält man

$$\frac{D_2}{D_1} = \frac{(n_1 - 1)\, n_2^2\, \nu_2 (\nu^* - \nu_1 n_1)}{(n_2 - 1)\, n_1^2\, \nu_1 (\nu^* - \nu_2 n_2)}.$$

Das Dickenverhältnis ist nur in geringem Maße vom Winkel $\varphi$ abhängig. Immerhin muß zur genauen Berechnung eine Formel benutzt werden, die keinerlei Vernachlässigungen enthält. Eine numerische Prüfung zeigt, daß sich auch mit dieser Vorrichtung gute Ergebnisse erzielen lassen. Im folgenden ist ein Kompensator be-

schrieben, der zur Messung von Meerwasser bestimmt ist. Als Brechungsexponenten für destilliertes Wasser und ein Meerwasser von etwa 3,4 $^0/_0$ Salzgehalt wurden folgende Werte zugrunde gelegt:

| | Wasser | Seewasser | $\Delta n$ |
|---|---|---|---|
| $n_F$ | 1,33 715 | 1,34 271 | 556 |
| $n_e$ | 1,33 448 | 1,33 994 | 546 |
| $n_c$ | 1,33 120 | 1,33 657 | 537 |

Die Werte sollen für 20$^0$ gelten, sie wurden provisorisch gemessen, sind aber dem absoluten Betrage nach wahrscheinlich um 1—2 Einheiten der 5. Stelle unsicher. Genauere Werte stehen mir leider im Augenblick nicht zur Verfügung. Es ist nicht anzunehmen, daß sich etwas Grundsätzliches an den Verhältnissen ändern wird, wenn die wahren Werte benutzt werden. Das wirksame $\nu$ wäre nach den angenommenen Werten für Meerwasser etwa 28,6. In der Literatur findet man für NaCl-Lösungen von 2,5 $^0/_0$ etwa 26—27 angegeben. Dieser Wert erhöht sich durch die übrigen Bestandteile des Seewassers um mindestens zwei Einheiten. Der hier angenommene Wert von 28,6 ist wahrscheinlich etwas zu niedrig. Zur Berechnung des $\nu$ dienen die in der vorstehenden Tabelle angegebenen Wellenlängen. Als mittlerer Brechungsexponent wird hier der Wert für die Wellenlänge 5461 verwendet. Die Plattendicken des Kompensators werden etwa 4,7 und 3,3 mm. Da in den Zeissischen Interferometern mit Autokollimation gearbeitet wird, können die Plattendicken auf die Hälfte reduziert werden. Der Winkel zwischen den Platten beträgt 20$^0$. Der gesamte Kippwinkel ebenfalls 20$^0$. Der erzeugte Gangunterschied zwischen Nullstellung und Endstellung ist 100 Wellenlängen Grün. In Abb. 4 ist auf der Abszisse der Kippwinkel $\varphi$ aufgetragen. Zu jedem Kippwinkel wurde der vom Kompensator erzeugte Gangunterschied für Grün berechnet und die Schichtdicke von Salzwasser — dest. Wasser ermittelt, die genau den gleichen Gangunterschied für Grün erzeugt. Nun wurde für diese Schichtdicke die Differenz der von den Flüssigkeiten und vom Kompensator erzeugten Gangunterschiede für Rot und für Blau gebildet. Diese Differenzen sind in den Kurven $r_1$ und $b_1$ dargestellt. Man erkennt, daß innerhalb des Meßbereiches nur Abweichungen von höchstens 0,2 Streifenbreiten auftreten. In Abb. 4 sind außerdem noch 2 Kurven ($r_2$ und $b_2$) eingetragen. Zur Berechnung dieser Kurven wurde angenommen, daß die Differenz der Brechungsexponenten für Salzwasser und Wasser nicht wie von mir gemessen 0,00546 sondern 0,00547 sei, also um eine Einheit der 5. Stelle größer. Bei der Berechnung des Kompensators ergaben sich in diesem Falle etwas abweichende Plattendicken. Die Abweichung beträgt etwa 0,01 mm. Man erkennt, wie außerordentlich stark sich ein kleiner Fehler bei der Bestimmung des Brechungsvermögens der Flüssigkeiten in der Gestalt der Abweichungskurven auswirkt. Es ist wahrscheinlich, daß die zur Berechnung von $r_2$ und $b_2$ benutzten Zahlen der Wahrheit näher kommen. In diesem Falle würde der Kompensator bei einem Kippwinkel bis 20$^0$, der in unserem Falle einem erzeugten Gangunterschied von 100 Wellenlängen Grün entspricht, nur Abweichungen von höchstens 0,05 Streifenbreite ergeben. — Aus diesen Angaben ergibt sich, daß man zwar auch dem Drehkompensator willkürlich ein gewünschtes $\nu^*$ geben kann, daß man aber den Meßbereich nicht gut über 100 bis 200 Wellenlängen erweitern kann, ohne daß

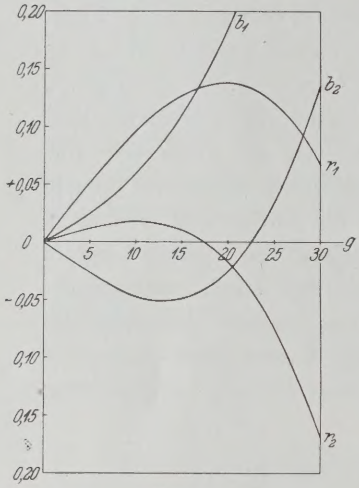



Abb. 4.

sich die Abhängigkeit der Dispersion vom Kippwinkel störend bemerkbar macht. In bezug auf den Meßbereich bestehen im Gegensatz zu den Verhältnissen beim Drehkompensator bei dem Köstersschen Keilkompensator keinerlei Beschränkungen. Beim Richterschen Kompensator können Schwierigkeiten dadurch entstehen, daß bei zunehmendem Abstand zwischen den Keilen eine immer stärker werdende Versetzung des einen Strahlenbündels auftritt. Die Keilkompensatoren erfordern geradlinige Verschiebungen, die sich mechanisch weniger leicht mit der gleichen Genauigkeit bewirken lassen, als die Drehungen beim Jamin-Kompensator; außerdem ist der Raumbedarf eines Drehkompensators geringer als der einer Vorrichtung mit verschobenen Keilen. Wenn nur ein Meßbereich von 100 Wellenlängen gebraucht wird, ist dem Drehkompensator der Vorzug zu geben. Soll der Meßbereich nicht in allen Fällen sondern nur gelegentlich erweitert werden, so wird man nach Mitteln suchen, den Meßbereich ohne Änderung der mechanischen Vorrichtung zu vergrößern, ehe man sich dazu entschließt, bei der Konstruktion technischer Interferometer eine Vorrichtung vorzusehen, die grundlegende Änderungen konstruktiver Natur nach sich zieht und deren Möglichkeiten im allgemeinen bei der Benutzung des Instrumentes nicht ausgeschöpft werden.

### 7. Verschiebung des Meßbereiches.

Ein Gangunterschied von 100 Wellenlängen Grün wird von 3,5 % NaCl-Lösung gegen Wasser bei 10 mm Schichtdicke erzeugt. Wenn eine Konzentrationsänderung von $2 \cdot 10^{-6}$ gemessen werden soll, so ist dazu eine Schichtdicke von etwa 160 mm nötig, wobei ein Einstellfehler von höchstens $^1/_{10}$ Streifen angenommen ist. Bei dieser Schichtdicke beträgt der Konzentrationsbereich, der dem Meßbereich des Drehkompensators von 100 $\lambda$ entspricht, nur etwa 0,2 %, oder, wenn die Kammern miteinander vertauscht werden können, 0,4 %. Wenn also mit der oben angegebenen Genauigkeit Konzentrationsänderungen festgestellt werden sollen, muß gegen eine Normallösung von bekannter Konzentration statt gegen Wasser gemessen werden. Der Meßbereich beträgt im ganzen 0,4 %. Soll in dem ganzen Bereich von 0—4 % gemessen werden, so ist die Verwendung von 10 Normallösungen notwendig. Um die Unbequemlichkeiten, die mit der Handhabung der Normallösungen verknüpft sind, zu vermeiden, kann man versuchen, mit Hilfe von Glasplatten unveränderliche „Modelle“ für die Normallösungen zu schaffen, die in der Handhabung wesentlich bequemer sind als die Lösungen. In diesem Abschnitt werden die Bedingungen untersucht, denen solche Einsatzplatten genügen müssen und die Methoden besprochen, die zur Erfüllung der Bedingungen benutzt werden können. — Im Jahre 1923 wurde von Carl Zeiss (F. Löwe) in einem einzelnen Falle als Ersatz für eine Normallösung eine Kammer mit destilliertem Wasser benutzt, in welches eine Glasplatte eingetaucht war. Da es sich in dem Falle nur um sehr kleine Meßbereiche handelte, brauchte auf die Dispersionseigenschaften des Systems keine besondere Rücksicht genommen zu werden. Man hätte die Glasplatte auch außerhalb der Kammer anbringen können. Das wäre aber einmal deshalb ungünstig gewesen, weil sich dann nicht wie beim Eintauchen die Temperatur der Glasplatte leicht der Temperatur der Untersuchungsflüssigkeit angleicht. Außerdem hängt die Wirkung einer von Luft umgebenen Korrektionsplatte in geringem Maße von der Luftdichte ab. Schließlich fallen beim Einsetzen in die Wasserkammer die Reflexionsverluste fort, die die Deutlichkeit der Interferenzerscheinung etwas beeinträchtigen. Wir wollen im folgenden stets annehmen, daß die Korrektionsplatten in die mit Flüssigkeit gefüllten Kammern eingetaucht werden. Die Verhältnisse wurden für die anderen möglichen Anordnungen für zwei Platten (eine Platte in Luft, eine

zweite in der Flüssigkeit usw.) untersucht, aber keine grundsätzlichen Vorteile gefunden zugunsten solcher Anordnungen. Die Betrachtungen sollen hier deshalb nicht mitgeteilt werden.

Betrachten wir zunächst den einfachsten Fall, daß sich in dem einen Strahlengang eine Kammer mit wäßriger Lösung, im anderen eine gleich lange Kammer mit destilliertem Wasser befindet, in welche eine Glasplatte der Dicke $L$ vom Brechungsvermögen $N$ eintaucht. Wenn die Wegunterschiede für zwei Wellenlängen verschwinden sollen, müssen folgende Gleichungen erfüllt sein

$$L N + (l - L) n_1 - n_2 l = 0,$$
$$L \cdot \Delta N + (l - L) \Delta n_1 - \Delta n_2 l = 0.$$

Bezeichnen wir mit $\nu_N$ die reziproke Dispersion des Einsatzglases, mit $\nu$ die wirksame Dispersion der Lösung gegen Lösungsmittel, so leitet man leicht folgende Beziehung ab:

$$N = 1 + \frac{\nu_N}{\nu_N - \nu} (n_1 - \Delta n_1 \cdot \nu - 1)\,. \qquad 11)$$

Wenn ein Glas von gegebenem $\nu_N$ ein mittleres Brechungsvermögen $N$ besitzt, wie es durch Gl. 11) gegeben ist, so ist es als Einsatzglas brauchbar, es liefert für zwei Wellenlängen den gleichen Wegunterschied wie die zu untersuchende Lösung.

Um einen Überblick über die Verwendbarkeit der optischen Gläser zu gewinnen, die uns zur Verfügung stehen, trägt man am besten die Kurve $N = f(\nu)$ in das $N$, $\nu$-Diagramm der Gläser ein. Im allgemeinen wird es kein Glas geben, das genau auf der Kurve liegt. Für ein der Kurve am nächsten liegendes Glas sind im folgenden die Abweichungen angegeben, die sich unter Benutzung der Brechungsexponenten des Schottschen Glaskataloges und der auf S. 470 angegebenen Werte von Wasser und Seewasser ergeben. In Abb. 5 ist ein Teil des Schottschen $n$, $\nu$-Diagramms mit der Kurve wiedergegeben. Nach dem Diagramm liegen die Gläser F 8 und BaSF 4 der Kurve am nächsten. Für 160 mm Kammerlänge ergeben sich die folgenden Glasdicken und Abweichungen zwischen den Kammern mit destilliertem Wasser + Glas und mit Seewasser von 3,5 % Salzgehalt.

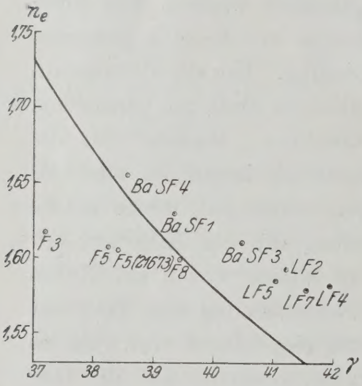


Abb. 5.

| Glas | $\lambda_C$ | $\lambda_e$ | $\lambda_F$ | Dicke[1] |
|---|---|---|---|---|
| BaSF 1 | 0 | + 2,0 | — 1,3 | $1{,}480_{67}$ |
| BaSF 4 | 0 | + 2,3 | — 0,6 | $1{,}363_{38}$ |
| F 8 | 0 | + 2,8 | + 0,3 | $1{,}653_{52}$ |

Wenn auch die Abweichungen für Rot und Blau einigermaßen erträglich sind, ist für Grün eine erhebliche Differenz vorhanden. Allerdings kann auf diese Angabe keinerlei Wert gelegt werden, da die zugrunde liegenden Messungen viel zu ungenau sind, als daß sich irgendwelche Schlüsse auf die Dispersionsverhältnisse (Verhältnis der Differenzen Rot — Grün zu Grün — Blau) ziehen ließen. Da der gesamte Gangunterschied im betrachteten Falle 1600 Wellenlängen beträgt, müßte die Differenz der Brechungsexponenten zwischen Seewasser und destilliertem Wasser auf $6 \cdot 10^{-5}$, also auf drei Einheiten der 7. Stelle genau bekannt sein, wenn man zuverlässige Unterlagen zur Berechnung der Abweichungen

[1] Die angegebenen Dicken gelten für eine Kammer von 80 mm, die Abweichungen in den ersten Spalten für Benutzung der Kammern in Autokollimation, also für 160 mm.

bis auf einige Zehntel Streifenbreiten haben wollte. Es ist nicht zu erwarten, daß selbst bei genauer Übereinstimmung des Wegunterschiedes für Rot und Blau auch für Grün die Differenz verschwinden sollte. Wir wollen versuchen, durch Verwendung von zwei Gläsern, je eines in einer Kammer, auch dieses sekundäre Spektrum nach Möglichkeit zum Verschwinden zu bringen. Vorher sei noch darauf hingewiesen, daß bei Benutzung eines Glases die Möglichkeit besteht, auch dann genau gleichen Gangunterschied für zwei Wellenlängen zu erreichen, wenn sich im $n, \nu$-Diagramm kein Glas findet, das genau auf der vorher besprochenen Kurve liegt. Man nimmt nämlich das Glas mit dem nächst niedrigen $\nu$ und ändert das wirksame $\nu$ durch Schrägstellen. Der richtige Kippwinkel kann aus Gl. 5) auf S. 465 entnommen werden. Abb. 6 zeigt die Abhängigkeit des $\nu$ vom Kippwinkel für das Glas F 5[1] mit $n_e = 1{,}60557$ und $\nu_0 = 38{,}4$.

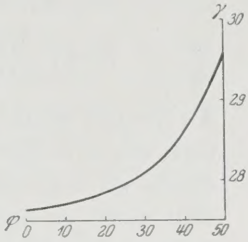


Abb. 6.

Untersuchen wir nun die Anordnung, bei welcher nach Abb. 7 in jede Kammer ein Glas senkrecht zum Strahl eingetaucht wird. Die Bedingung für Achromasie erster Ordnung lautet dann

$$\frac{L_1}{l}(N_1 - n_1) - \frac{L_2}{l}(N_2 - n_2) - (n_2 - n_1) = 0\,,$$

$$\frac{L_1}{l}(\bar{\Delta} N_1 - \bar{\Delta} n_1) - \frac{L_2}{l}(\bar{\Delta} N_2 - \bar{\Delta} n_2) - (\bar{\Delta} n_2 - \bar{\Delta} n_1) = 0\,.$$

Hier ist mit $\bar{\Delta}$ die Differenz der Brechungsexponenten für Blau gegen Rot bezeichnet. Man berechnet daraus sofort die relativen Glasdicken

$$\frac{L_1}{l} = \frac{(N_2 - n_2)(\bar{\Delta} n_2 - \bar{\Delta} n_1) - (n_2 - n_1)(\bar{\Delta} N_2 - \bar{\Delta} n_2)}{(N_2 - n_2)(\bar{\Delta} N_1 - \bar{\Delta} n_1) - (N_1 - n_1)(\bar{\Delta} N_2 - \bar{\Delta} n_2)}\,,$$

$$\frac{L_2}{l} = \frac{L_1}{l} \cdot \frac{N_1 - n_1}{N_2 - n_2} - \frac{n_2 - n_1}{N_2 - n_2}\,.$$

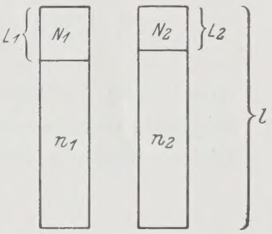


Abb. 7.

Es gibt eine große Zahl von Glaskombinationen, die nach diesen Formeln positive Glasdicken ergeben. Man wird diejenigen Paare aussuchen, bei welchen die Dicken möglichst gering bzw. von einem bequem ausführbaren Maß herauskommen. Wenn man Achromasie höherer Ordnung erreichen will, wird man die Mannigfaltigkeit der möglichen Kombinationen weiterhin einschränken müssen. Um einen einigermaßen raschen Überblick über das Verhalten der Einsatzgläser in bezug auf die sekundären Farbabweichungen zu erhalten, kann man folgenden Weg einschlagen. Bezeichnen wir mit $\Delta N$ und $\Delta' N$ die Differenzen für Rot — Grün bzw. Grün — Blau, so kann man, wenn die Flüssigkeiten und eine Glassorte festgelegt sind, eine lineare Beziehung zwischen den $N$, $\Delta N$ und $\Delta' N$ der zweiten Glassorte aufstellen. Wenn in der Gleichung:

$$N + c_1 \Delta N + c_2 \Delta' N + c_3 = \Delta \qquad 12)$$

die Größe $\Delta$, die wir vorübergehend als Diskriminante bezeichnen wollen, verschwindet, so liegt Achromasie höherer Ordnung bei Verwendung der betreffenden Glassorten vor, es verschwindet der Gangunterschied gleichzeitig für drei Wellenlängen. Die $c_1\ c_2\ c_3$ hängen von den Brechungseigenschaften der Flüssigkeiten und denen der einen

[1] Schmelznummer 21673 von Schott u. Gen.

gegebenen Glassorte ab. Im einzelnen erhält man die Bedeutung der Konstanten wie folgt:

$$\varDelta = N - \varDelta N \cdot \frac{B b_2 + b}{b_1} + \varDelta' N \cdot B - \left(n_1 - \varDelta n_1 \cdot \frac{B b_2 - b}{b_1} + \varDelta' n_1 B\right),$$

$$b = N_2' - n_2'; \qquad b_1 = \varDelta N_2 - \varDelta n_2; \qquad b_2 = \varDelta' N_2 - \varDelta' n_2 .$$

$$B = \frac{b_1 (n_2 - n_1) - b (\varDelta n_2 - \varDelta n_1)}{b_2 (\varDelta n_2 - \varDelta n_1) - b_1 (\varDelta' n_2 - \varDelta' n_1)} .$$

Als Beispiel seien einige Zahlen angegeben, denen allerdings für Seewasser und Wasser noch etwas andere Brechungsexponenten zugrunde gelegt sind als vorher. Vor allem wurde als Wellenlänge im Blauen 4359 gewählt, da die Brechungsexponenten für 4861 nicht genügend genau bekannt waren. Wenn als Glas mit $N_2$ das $BK\,7$ des Schottschen Kataloges genommen wird, ergibt sich für die Diskriminante:

$$\varDelta = N + \varDelta N \cdot 4272{,}1 - \varDelta' N \cdot 2160{,}9 - 3{,}00723 .$$

In der folgenden Tabelle 3 sind die Werte der Diskriminante und die Glasdicken für

Tabelle 3.

| Glas | $\varDelta$ | $D_1$ | $D_2$ |
|---|---|---|---|
| BaK 2 | + 0,140 | 13,2 | 12,9 |
| BaK 5 | + 0,114 | 10,2 | 10,4 |
| BaLF 7 | − 0,412 | 4,2 | 3,6 |
| SK 1 | + 0,040 | 6,4 | 10,0 |
| SK 8 | + 0,050 | 5,9 | 6,8 |
| SK 9 | − 0,004 | 5,5 | 6,2 |
| SSK 1 | − 0,081 | 4,9 | 5,4 |

eine Reihe verschiedener Gläser eingetragen. Der kleinste Wert (— 0,004) nimmt die Diskriminante für $SK\,9$ an. Für diese Gläser würden sich mit den genaueren Dicken folgende Abweichungen für 160 mm Kammerlänge ergeben:

$$-0{,}014\,\lambda c,$$
$$+0{,}002\,\lambda e,$$
$$+0{,}002\,\lambda g.$$

Wie man aus den großen Abweichungen im Werte der Diskriminante bei den übrigen Gläsern sieht, ist die genaue Übereinstimmung ein Zufall; überdies haben die Zahlen schon deshalb keinen praktischen Wert, weil keiner der benutzten Brechungsexponenten auch nur annähernd genau genug bekannt war. Immerhin sollte die Methode hier doch angegeben werden, da man mit ihrer Hilfe wahrscheinlich brauchbare Kombinationen für die Einsatzgläser auffinden kann.

Zum Schluß habe ich meinem Laboranten, Herrn W. Uhrl, für die sorgfältige Ausführung einer Reihe von Messungen und ganz besonders Herrn Dr. Gehne für die gewissenhafte Durchführung einer größeren Reihe von äußerst langwierigen numerischen Rechnungen, aus denen besonders die Korrektionskurven in Abb. 4 gewonnen wurden, herzlich zu danken.

# Die Intensitätsverteilung in einer Kreiszylinderwelle.

Von

**Johannes Picht** in Neubabelsberg-Potsdam.

In einer früheren Arbeit[1] ist von mir für ein mit sphärischer Aberration behaftetes räumliches Strahlenbündel eine Darstellung der Intensitätsverteilung, der „Kurven gleicher Helligkeit" in der Umgebung der Brennflächen angegeben worden. In einer späteren Arbeit gab Berek[2] eine entsprechende Darstellung für eine ideale Kugelwelle. In der vorliegenden kurzen Mitteilung will ich die ganz entsprechende Darstellung für eine ideale Zylinderwelle geben, da mir diese für alle spektroskopischen Arbeiten (beleuchteter Spalt, Prismen- oder Gitterspektrograph) von gewisser Bedeutung zu sein scheint. Ich verzichte darauf, die zugehörigen mathematischen Formeln hier mitzuteilen, sondern erwähne nur, daß die Kurven mit Rechenschieber nach einer Formel berechnet sind, die die endliche Öffnung des Bündels, d. h. die hierdurch bedingten Beugungserscheinungen berücksichtigt, und die u. a. in einer kürzlich erschienenen Arbeit[3] über Totalreflexion nebenher abgeleitet wurde.

Als Halböffnung des Strahlenbündels wurde für die Rechnung der Winkel von $5{,}7^0$ gewählt, dessen Tangens den Wert 0,1 hat. Die Abb. 1 bis 11 stellen die Inten-

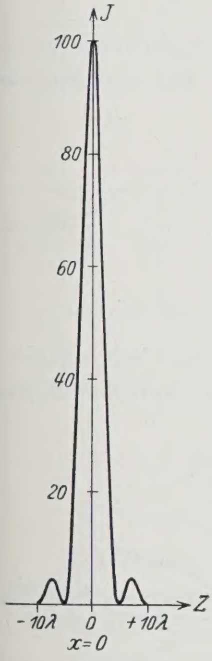


Abb. 1.

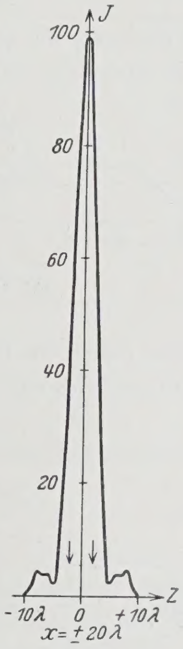


Abb. 2.

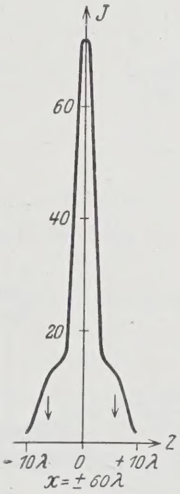


Abb. 3.

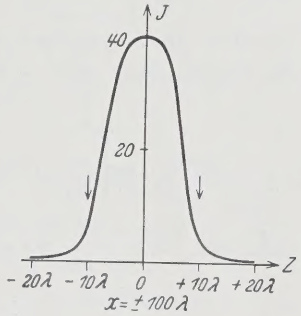


Abb . 4.

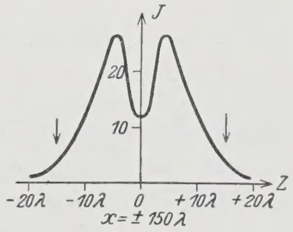


Abb. 5.

sität in verschiedenen achsensenkrechten Schnittebenen ($x$ = Entfernung von der Brennlinie, gemessen in Wellenlängen) dar. Man erkennt, daß bei Entfernung von der Brennlinie das Intensitätsmaximum im Schnitt mit der optischen Achse mehr und mehr abnimmt und mehr in die seitlichen Gebiete hineingedrückt wird. Bei $x = \pm 150\,\lambda$

---

[1] Picht, *Ann. d. Physik* **77**. *S. 685. 1925;* s. § 21. — Ferner *diese Zeitschr.* **50**. *S. 308. 1930.*

[2] Berek, *Zeitschr. f. Physik* **40**. *S. 421. 1926.*

[3] Picht, *Ann. d. Physik* **3**. *S. 433. 1929;* s. § 11. — Ferner *Ann. d. Physik* **4**. *S. 273. 1930.*

Entfernung von der Brennlinie ist die Intensitätsverteilung schon so, daß eine dort aufgestellte Auffangebene den Eindruck von zwei getrennten Linien, beide nach ent-

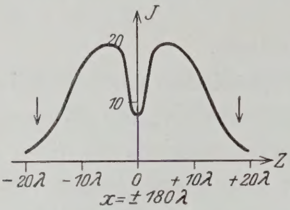



Abb. 6.

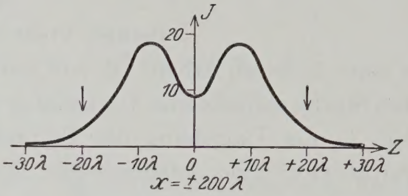



Abb. 7.

gegengesetzten Seiten verschoben, vortäuscht, da die Intensität im Schnittpunkt mit der Achse in dieser Ebene geringer geworden ist als die der Umgebung dieses Schnitt-

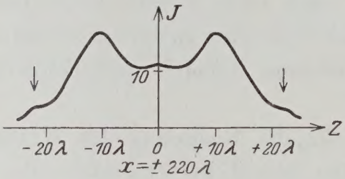



Abb. 8.

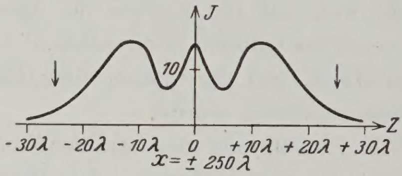



Abb. 9.

punktes. Je weiter man sich von der Brennlinie entfernt, um so verwickelterer werden die Verhältnisse. Bei $\pm 250\,\lambda$ Entfernung von der Brennlinie zeigen sich drei Maxima,

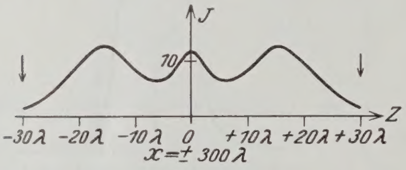



Abb. 10.

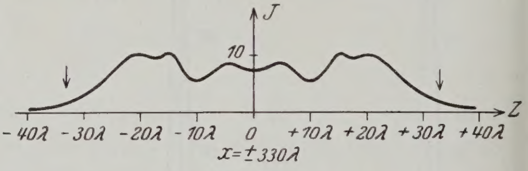



Abb. 11.

die also drei getrennte Linien vortäuschen, zwischen denen die Intensität indessen nicht mehr bis nahe an Null herunter geht, sondern nur noch bis auf etwa den halben Betrag

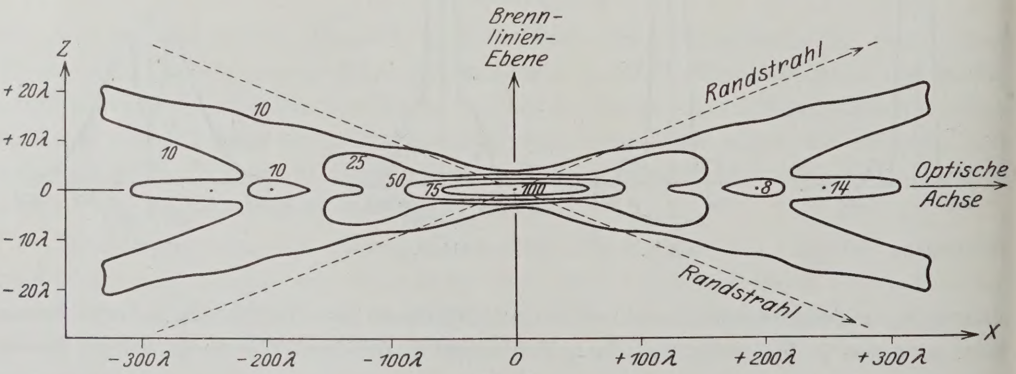



Abb. 12.

von derjenigen der Maxima selbst. In noch größerer Entfernung werden die Verhältnisse natürlich wesentlich verwaschener und ergeben dort ein breites Band, in dem nur noch geringe Intensitätsdifferenzierungen zu erkennen sind. Dies ist z. B. schon nahezu der Fall bei $x = \pm 330\,\lambda$.

Die in den Abbildungen eingezeichneten Pfeile geben jeweils den Schnitt mit den Randstrahlen des Bündels, also die geometrisch-optische Begrenzung der betr. achsensenkrechten Ebene.

Die in den Abb. 1 bis 11 angegebenen Intensitätsverhältnisse wurden in Abb. 12 noch zusammengefaßt zu einer Isophotendarstellung, einer Darstellung der Kurven gleicher Helligkeit in der Umgebung der Brennlinie. Allerdings sind der Deutlichkeit wegen die Maßstäbe für die Ordinate und Abszisse verschieden gewählt. Der der Ordinate ist gleich dem vierfachen von dem der Abszisse, so daß wir uns die Zeichnung in Richtung der Ordinate auf den vierten Teil zusammengeschrumpft vorzustellen haben.

In der folgenden Tabelle geben wir noch die Zahlenwerte der Intensität an den verschiedenen Stellen der verschiedenen achsensenkrechten Ebenen in Prozent der Intensität der Brennlinie. Die Zahlen sind z. T. oben oder unten mit Punkt versehen. Diese Punkte beziehen sich auf die vorgenommene Abrundung. Es bedeutet: Punkt oben, daß der genaue Wert um drei bis fünf Einheiten der nächsten Stelle größer, Punkt unten, daß er um drei bis fünf Einheiten der nächsten Stelle kleiner ist, als der angegebene Wert.

Tabelle der Intensitätswerte.

| | $x =$ 0 | 20 | 60 | 100 | 150 | 180 | 200 | 220 | 250 | 300 | 330 $\lambda$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| z = 0 | 100 | 99 | 72 | 40˙ | 12 | 8 | 9 | 11 | 14 | 12 | 7˙ |
| 2 | 57 | 56. | 45 | | | | | 11. | | | |
| 5 | 0 | 2 | 13 | 34 | 26˙ | 21 | 16 | 11˙ | 6˙ | 6˙ | 9. |
| 7 | 4˙ | 4. | 10 | | | | | 13 | | | |
| 10 | 0 | 0 | 1˙ | 5 | 12˙ | 17 | 18. | 17 | 15. | 8 | 5˙ |
| 15 | | | | 1 | 3˙ | 6 | 8 | 10 | 12˙ | 13. | 10˙ |
| 20 | | | | 0 | 1 | 1˙ | 3. | 4 | 6 | 9˙ | 10˙ |
| 25 | | | | | | | | 1˙ | 2 | | 7 |
| 30 | | | | | | | 0˙ | | 1 | 2 | 3. |
| 35 | | | | | | | | | | | 1 |
| 40 | | | | | | | | | | 0˙ | 0˙ |

# Meridianbestimmung mit dem Sonnenkompaß.

Von
**V. Theimer** in Leoben.

Erfahrungsgemäß sind in den nordischen Ländern die Meridianbestimmungen auf magnetischem Wege infolge lokaler Störungen meistens recht unsicher. Man benützt deshalb zur Bestimmung des Meridians, wenn keine besondere Genauigkeit verlangt wird, den sogenannten Sonnenkompaß.

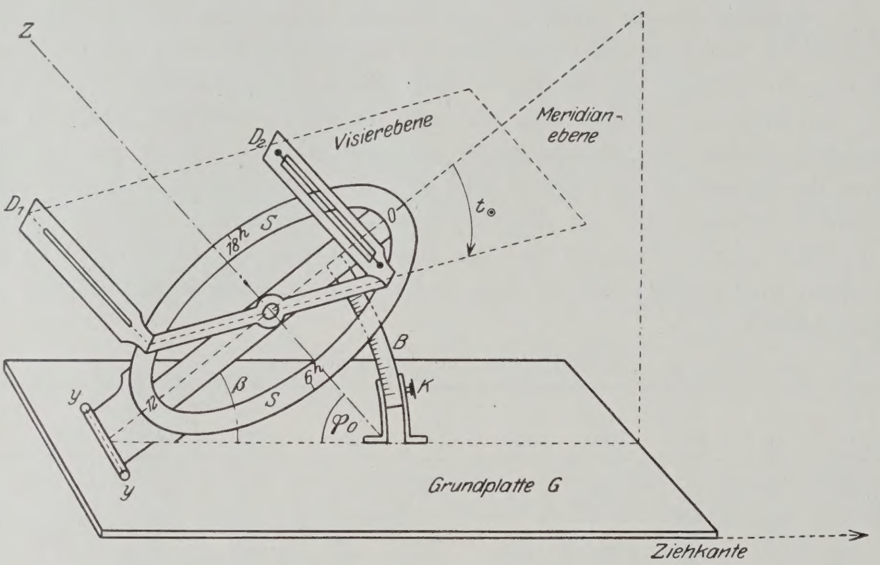
Die wesentlichen Bestandteile des Sonnenkompasses sind gemäß der Abbildung:

1. Die horizontale Grundplatte $G$, welche auf einer horizontalen Unterlage, z. B. auf einem gut horizontierten Meßtische steht.

2. Der Stundenkreis $S$, welcher um die, auf der Grundplatte $G$ montierte Achse $yy$ gekippt werden kann. Das Querstück des Stundenkreises trägt auf der Unterseite ein fest montiertes Bogensegment $B$, welches mit einer Gradeinteilung versehen ist, deren Mittelpunkt in der $y$-Achse liegt. Die Stundenkreisebene kann mit Hilfe dieser Gradeinteilung auf einen beliebigen Neigungswinkel $\beta$ gegen die Grundplatte $G$ eingestellt und mit der Klemme $K$ festgeklemmt werden.

3. Das Diopter $D_1D_2$, zentrisch im Stundenkreise montiert, um die $z$-Achse drehbar und am Stundenkreise klemmbar. Die Lamelle $D_1$ trägt einen zur $z$-Achse parallelen Schlitz, die Lamelle $D_2$ einen ebensolchen, etwas breiteren Schlitz, mit einem zur $z$-Achse parallel gespannten Faden.

Durch den Faden $D_2$ und den Schlitz $D_1$ ist eine Visierebene normal zum Stundenkreise $S$ bestimmt; wird diese Visierebene auf die Sonne eingestellt, dann wirft




der Faden $D_2$ seinen Schatten durch den Schlitz $D_1$ auf ein hinter $D_1$ gehaltenes Papier. Die Einstellung ist richtig, wenn der Schatten des Fadens $D_2$ in dem hellen Schlitzbilde von $D_1$ symmetrisch steht.

Die Anwendung des Apparates zur Meridianbestimmung ist sehr einfach: Man macht den Neigungswinkel $\beta$ der Stundenkreisebene $S$ gleich dem Komplementärwinkel der geographischen Breite $\varphi_0$ des Beobachtungsortes $\underline{O}$, d. h. macht $\beta = 90 - \varphi_0$.

Sodann stellt man das Diopter auf die Kreisablesung $t_\odot$ ein, wobei $t_\odot$ den Stundenwinkel der wahren Sonne im Beobachtungsorte für einen ganz bestimmt gewählten Moment vorstellt, etwa für den Moment, dem die mittlern Ortzeit $M_0$ zugeordnet ist.

Hat man diese Einstellungen vollzogen, und macht man im Momente $M_0$ die Visur nach der Sonne (durch entsprechende Verdrehung des Apparates am Zeichentische), dann ist, wie Skizze zeigt, die $z$-Achse parallel zur Erdachse, und die Stundenkreisebene $S$ parallel zur Äquatorebene, während die Ebene, welche durch die $z$-Achse und den Nullpunkt der Stundenkreisteilung bestimmt ist, mit der Meridianebene des Beobachtungsortes $\underline{O}$ identisch wird.

Da nun die Ziehkante des Apparates zu dieser Meridianebene parallel ist, so hat man zur Ersichtlichmachung der Meridianrichtung am Meßtisch-Zeichenblatte weiter nichts zu tun, als längs der Ziehkante einen Bleistiftstrich zu führen.

Es erübrigt noch eine Andeutung über die Berechnung des Stundenwinkels $t_\odot$, welcher der mittleren Ortszeit $M_0$ des Beobachtungsortes $\underline{O}$ zugeordnet ist.

Man hat eine Uhr, die für einen beliebigen anderen Ort $P$ reguliert wurde, deren jeweiliger Stand $\sigma$ für diesen Ort also bekannt ist. Man ist daher in der Lage, für jeden beliebigen Moment aus der Uhrzeit $u$ die zugeordnete mittlere Ortszeit von $P$ anzugeben.

Bedeutet $\lambda$ den absoluten Betrag des Längenunterschiedes zwischen $\underline{O}$ und $P$, dann wird für irgendeinen beliebigen Moment, in dem man die Uhrzeit $u$ abliest,

die mittlere Ortszeit von $P$ gleich: ... $M_P = u + \sigma$,

die zugeordnete mittlere Ortszeit von $\underline{O}$ gleich: ... $M_0 = M_P \pm \lambda = u + \sigma \pm \lambda = t_\odot + \xi$.

Dabei gilt bei $\lambda$ das $(\pm) =$ Zeichen, je nachdem ... $\underline{O}$ (östlich/westlich) von $P$ liegt, und $\xi$ bedeutet die Zeitgleichung für die mittlere Zeit $M_0$ von $\underline{O}$.

Aus obiger Gleichung folgt: ... $\underline{t_\odot = u + \sigma \pm \lambda - \xi}$.

Wird also $u$ gewählt und $t_\odot$ gerechnet, dann kann man zur Uhrzeit $u$ obige Meridianeinstellung des Apparates durchführen.

Der Anwendungsbereich des Apparates bleibt auf die nördlich und südlich der Wendekreise gelegenen Gebiete beschränkt, weil mit abnehmender Breite die unvermeidlichen Beobachtungsfehler recht gefährlich werden können, wie G. A. Rune in der *Zeitschr. f. Vermw.* **85**. S. 753. 1929 nachgewiesen hat. Beobachtungen in der Nähe des Zenits sind unbedingt zu vermeiden. In niedrigen Breiten kann man den Apparat nur dann verwenden, wenn die Sonne fern vom Zenit kulminiert.

---

# Eine französische „Anleihe“ bei der deutschen geodätischen Feinmechanik.

Von

**Karl Lüdemann** in Freiberg (Sa.).

Ein augenscheinlich gut unterrichteter Fachmann, der kürzlich in der *D. Opt. Wochenschr.* (1) über „Die optisch-wissenschaftliche Forschung und das Institut d'Optique

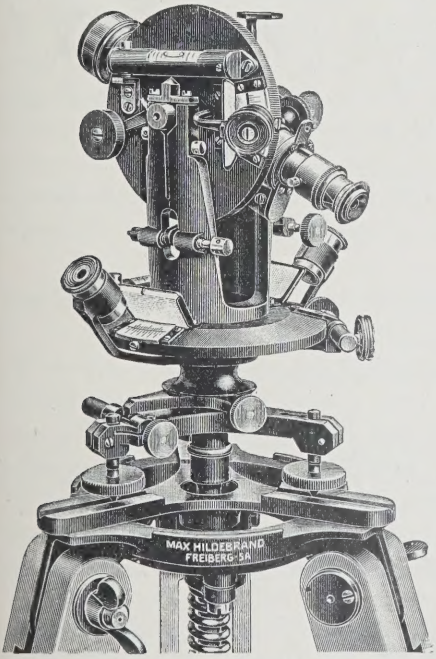



Abb. 1. Hildebrand-8 cm-Nonientheodolit Nr. 7.

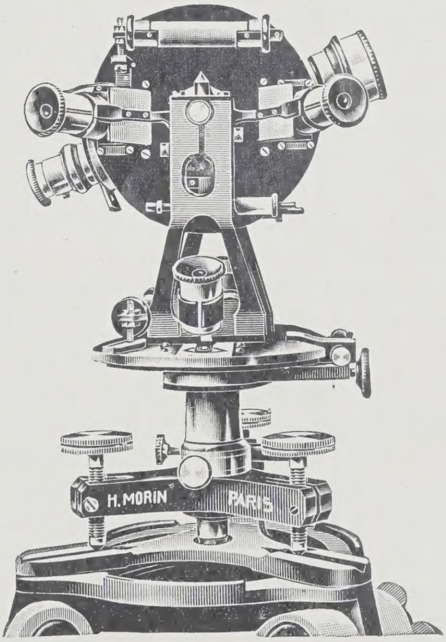



Abb. 2. Nachbildung des 8 cm-Nonientheodolit von Morin-Paris.

in Frankreich“ berichtet hat, führte dabei folgendes aus: „Frankreich baut jetzt im allgemeinen Deutschlands Instrumente nur nach, und nur auf wenigen Gebieten leistet es wirklich Eigenes.“ Daß diese Angabe auf dem Gebiet der geodätischen Feinmechanik,

also bei der Herstellung von geodätischen Vermessungsinstrumenten, richtig ist, mag die nachstehende Mitteilung beweisen.

Die Hildebrand-Werkstätten in Freiberg (Sa.) stellen schon seit vielen Jahrzehnten 8 cm-Theodolite mit verschiedenen Ablesevorrichtungen her, die in Deutschland und im Ausland vornehmlich als Grubentheodolite weit bekannt nnd verbreitet sind; sie wurden auch im deutschen und ausländischen Fachschrifttum mehrfach behandelt. Von dem 8 cm-Nonientheodolit gibt es — ebenfalls seit vielen Jahrzehnten — zwei äußerlich bis auf die Höhenkreisnonien gleiche Ausführungen, deren Konstruktion Abb. 1 veranschaulicht, während Tafel 1 die Abmessungen wiedergibt.

Tafel 1.

| Gegenstand | | Hildebrand Nr. 7 | Hildebrand Nr. 6 | Nachbildung von Morin |
|---|---|---|---|---|
| Teilungsdurchmesser | Grundkreis cm | 8 | 8 | 8 |
| | Höhenkreis cm | 7 | 7 | 8 |
| Nonien am Höhenkreis . . . . . . . | | 1 | 2 | 2 |
| Noniusangabe | Grundkreis *s* . . . . . | 60 | 30 | 30 |
| | Höhenkreis *s* . . . . . | 60 | 60 | 60 |
| Objektivöffnung mm . . . . . . . . | | 20 | 20 | 24 |
| Objektivbrennweite mm . . . . . . . | | 120 | 120 | 120 |
| Vergrößerung . . . . . . . . . . . | | 11 | 11 | 7 |
| Libelle auf Grundkreisdecke . . . . . | | 1 | 1 | 1 |
| Libelle am Höhenkreis . . . . . . . | | 1 | 1 | 1 |
| Nivellierlibelle am Fernrohr . . . . . | | 1 | 1 | 1 |

Diese Hildebrand-8 cm-Grubentheodolite sind der feinmechanischen Werkstätte H. Morin in Paris aus den verlorenen Bergwerken Elsaß-Lothringens und aus den französisch verwalteten Saargruben bekannt geworden; sie wurden, wie die Abb. 2 zeigt, von ihr äußerlich ziemlich naturgetreu nachgebaut. R. Danger (2) bezeichnete 1927 diese *„construction française“* als *„dernière création da la maison Morin“*. Die Firma Morin hebt in ihrem eigenen Bericht (3) das geringe Gewicht, die Handlichkeit und die bequeme Beförderung hervor.

Einige Zahlenangaben der Nachbildung, die sich sogar auf nebensächliche Einzelheiten erstreckt, gibt die Tafel 1 wieder; hierbei sei auf die Beibehaltung der sexagesimalen Teilung hingewiesen.

Völlig „übernommen“ ist auch der Stativkopf mit 6 cm Verschiebungsmöglichkeit und mit dreiflügeliger Platte, den R. Danger (2) *„un modèle nouveau“* nennt.

Wenn R. Danger (2) seinen Bericht über das Instrument so schließt: *„L'ensemble bien étudié constitue un nouveau modèle interéssant“*, so schätzt er offenbar die instrumentellen Kenntnisse der französischen Geometer und Markscheider sehr gering ein.

Über die Art und Weise, wie die englische, russische, holländische und manche andere ausländische feinmechanische Industrie die Erzeugnisse der deutschen geodätischen Feintechnik als Vorbilder benutzt, zu einem nicht geringen Teil sie bis in unwesentliche Einzelheiten nachgebildet hat, darüber wird zu gegebener Zeit in allen Einzelheiten zu berichten sein.

### Angezogene Schriften.

1. ... Die optisch-wissenschaftliche Forschung und das Institut d'Optique in Frankreich. *D. Opt. Wochenschr.* **14.** *S. 64—65. 1928.*

2. R. Danger, *Construction française: Théodolite de mines Morin. Journ. des géomètres — experts français 1927. S. 584—585.*

3. *Théodolite de mines présenté par les Etablissements Morin. Revue d'optique* **7.** *S. 40—41. 1928.*

# Berichte.

## Über ein Strömungsmanometer.

*Von* W. Gerlach und H. Mayer. *Zeitschr. f. techn. Physik* ***10.*** *S. 457—458. 1929.*

Die Verfasser haben das Problem der Hochvakuumtechnik, bei sehr niedrigen Drucken Druckdifferenzen als Strömungsvorgänge nachzuweisen und fortlaufend zu verfolgen, eingehend untersucht. Dabei konnten sie auf das im Prinzip von L. Heis[1] angegebene Strömungsmanometer zurückgreifen, das sie insbesondere auf seine Eignung für Strömungsmessungen der erwähnten Art prüften.

Das Heissche Manometer besteht aus einem an einem Quarzfaden hängenden kleinen rechteckigen Spiegel, hinter dessen Hälften je ein mit der die Strömung führenden Rohrleitung in Verbindung stehendes Röhrchen mündet. Das Ganze ist in einem geschlossenen Gehäuse untergebracht, dessen Wandung die Zuleitungsröhrchen durchsetzen, dessen Vorderseite ein Fenster zur Beobachtung der der jeweiligen Strömung entsprechenden Spiegelbewegung enthält. Die Empfindlichkeit des Instruments wird außerordentlich gesteigert und Proportionalität der Ablenkung mit der Strömungsmenge erreicht dadurch, daß, wie Abb. 1 zeigt, auf der Rückseite des Spiegels Zylinder — aus Aluminiumfolie — aufgesetzt werden. Auf diesem Wege läßt es sich erreichen, daß die Brownsche Molekularbewegung mit dem Gerät nachweisbar wird.

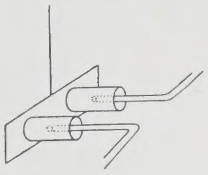


Abb. 1.

Zur Messung der Entgasung eines Rezipienten durch Heizung bei niedrigen Drucken werden zwei Anordnungen ausprobiert. Die eine — Abb. 2 — sieht an der zur Pumpe führenden Leitung $R$ eine glockenförmige Anschmelzung $A$ vor, in der vor einer feinen Düse $D$ ein Flügel einer kleinen Drehwaage $P$ hängt. Der am Aufhängefaden der Drehwaage befestigte Spiegel $Sp$ dient zur Ablenkung der Lichtstrahlen mit Hilfe deren beobachtet wird. Die andere Ausführung sieht an dem Gehänge einen Zeiger vor, dessen Befestigung keine Schwierigkeiten macht, der bei Drehung des Spiegels bzw. des ihn ersetzenden Metallplättchens über einer Skala spielt.

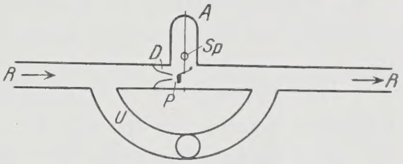



Abb. 2.

Die sehr befriedigenden Ergebnisse berechtigen die Verfasser zu der Hoffnung, daß auf dem gezeigtem Wege sich Vakuummeßgeräte, die auch für den technischen Gebrauch geeignet sind, entwickeln lassen, sie zeigen aber auch, welcher Leistungen rein mechanisch wirkende Geräte bei vollendeter Ausführung fähig sind, eine Tatsache, die heute häufig nicht bekannt zu sein scheint.

*W. Keil.*

## Ein Instrument zur optischen Prüfung der Linsen im Sonnenscheinautographen.

*(An instrument for the optical examination of sunshine recorder lenses.)*

*Von* E. G. Bilham. *Journ. Scientif. Instrum.* ***6.*** *S. 283—287. 1929.*

Die Kugellinsen in den Campbell-Stokes-Sonnenscheinautographen verlangen eine genaue optische Prüfung. Ein neuer Prüfungsapparat hierfür wird beschrieben. Das *Meteorological Office, South Kensington,* stellt folgende Normalien für die Kugellinsen auf:

1. Material. Die Kugel soll aus gleichartigem und gut gekühltem Glas vom ungefähren Brechungsindex $n_D = 1{,}512$ bestehen.

2. Farbe. Das Glas soll farblos oder sehr blaß gelblich grün sein.

3. Brennweite. Sie wird definiert als die Entfernung zwischen dem Kugelmittelpunkt und dem optischen Fokus eines engen axialen parallelen Strahlenbündels gelben Natriumlichts. Die Brennweite ist das Mittel aus den Meßwerten entlang von vier beliebigen Achsen und soll $2{,}95 \pm 0{,}01$ engl. Zoll betragen. Die Brennweite für eine beliebige einzelne Achse darf nicht außerhalb des Bereichs von 2,93 bis 2,97 engl. Zoll liegen.

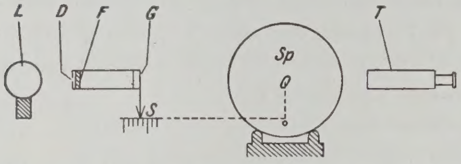
---

[1] L. Heis, *Physikal. Zeitschr.* ***25.*** *S. 326. 1924.*

4. Homogenität. Keine optische Unregelmäßigkeit im Glase soll sich über den ganzen Querschnitt eines beliebigen Zylinders von 1 Zoll Durchmesser erstrecken, dessen Achse durch den Kugelmittelpunkt geht. Unter optischer Unregelmäßigkeit verstehe man eine Unvollkommenheit, welche die Entstehung eines scharfen Bildes durch Vermittlung enger Büschel paralleler Strahlen von Natriumlicht verhindert.

5. Größe. Der Durchmesser der Kugel „$n_D = 1{,}512$; $f_D = 2{,}95$ Zoll" ist 4 Zoll. Geringe Abweichungen des Durchmessers von nicht mehr als $\pm 0{,}05$ Zoll sind dagegen zulässig, soweit Bedingung 3 darunter nicht leidet.

Eine Apparatur, welche die Brennweite gemäß Bedingung 3 leicht und sicher bis auf 0,01 Zoll zu bestimmen erlaubt, wird im folgenden angegeben. Neben der großen Genauigkeit ist für die Apparatur allgemein charakteristisch, daß die Messungen im unverdunkelten Raum gemacht werden können und daß die Brennweite ohne weitere Rechnung direkt an einer Skala abgelesen werden kann. Die Figur zeigt die Anordnung. $L$ ist eine ausgedehnte Lichtquelle, $Sp$ die Kugel und $T$ ein auf Unendlich fokussiertes Fernrohr. $G$ ist ein transparentes Glasgitter, welches auf einem in der Blicklinie verschiebbaren Schlitten angebracht ist. Der Abstand von $G$ bis zum Kugelmittelpunkt $O$ kann auf einer Skala $S$ abgelesen werden. $D$ ist eine Blende und $F$ ein möglichst monochromatisches Lichtfilter für die $D$-Linie. Der Beobachter blickt ins Fernrohr und verschiebt das Gitter $G$ vor- und rückwärts, bis die Striche scharf erscheinen. Die Brennweite wird dann direkt auf der Skala abgelesen.




Außer einer erschütterungsfreien Aufstellung und guter Korrektion des Fernrohrs sind noch einige Punkte besonders zu beachten. Sie betreffen die genaue Lage des Kugelmittelpunkts im Nullpunkt der Skala und die achsenparallele Führung des Gitterschlittens. Hinsichtlich der konstruktiven Einzelheiten muß hier auf das Original verwiesen werden.

Die Messung des Durchmessers der Kugel erfolgt am gleichen Apparat und beruht auf folgendem Prinzip. Der Mittelpunkt einer Standardkugel von 4 Zoll Durchmesser liegt gerade auf der optischen Achse des Fernrohrs und desgleichen das Fadenkreuz im Okular. Bei Benutzung der Standardkugel erscheint die Mitte des Gitters genau auf dem Fadenkreuz. Wird nun die zu prüfende Kugel an Stelle der Standardkugel aufgelegt, so bewirkt ein Fehler im Durchmesser, daß das Gitter gegen das Fadenkreuz verschoben erscheint. Aus dem Betrag der seitlichen Verschiebung folgt dann der Betrag des Durchmesserfehlers mit einer Genauigkeit von 0,001 Zoll. *Flügge.*

## Zur Theorie des Hörens. Über die eben merkbare Amplituden- und Frequenzänderung eines Tones. Die Theorie der Schwebungen.

*Von* G. v. Bekesy. *Physikal. Zeitschr.* ***30.*** *S. 721—745. 1929.*

Wie aus der Überschrift hervorgeht, behandelt die vorliegende Arbeit Fragen aus dem heute stark in den Vordergrund physikalischen Interesses gerückten Grenzgebiet zwischen Akustik und Physiologie. Der Verfasser studiert insbesondere die Frage, ob die Frequenzabhängigkeit der Fühlgrenze, der Hörschwelle und anderer für das Ohr charakteristischer Merkmale auf physiologische oder physikalische Eigenschaften des Ohres zurückzuführen sind. Zahlreiche Kurvendarstellungen erhärten die Untersuchungsergebnisse ebenso wie die schematischen Skizzen der benutzten Geräte und Meßanordnungen in größerer Zahl zum Verständnis der Forschungen des Verfassers beitragen, über die ausführlicher zu berichten den Rahmen dieser Zeitschrift übersteigen würde. *W. Keil.*

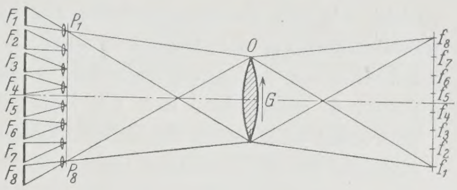
## Kinematographie auf ruhendem Film und mit extrem hoher Bildfrequenz.

*Von* C. Cranz und H. Schardin. *Zeitschr. f. Physik.* ***56.*** *S. 147—183. 1929.*

Zur Untersuchung rasch ablaufender Vorgänge haben sich kinematographische Methoden schon seit Jahren eingebürgert, denn sie gestatten ein Studium der im Bilde festgehaltenen einzelnen Phasen des Vorganges, das von der Ablaufszeit unabhängig ist. Daß ballistische Untersuchungen im weitesten Umfange hinsichtlich des zeitlichen Bildabstandes, d. h. der Bildfrequenz außerordentlich hohe Anforderungen stellen, wird durch die Natur der Probleme bedingt. Daraus erklärt es

sich auch, daß gerade die Ballistik, nicht die kinematographische Technik im eigentlichen Sinne, die Entwicklung der Hochfrequenzkinematographie am meisten vorwärts getrieben hat. Was die Verfasser auf diesem Gebiet bei neueren Untersuchungen erreicht haben, wird in der vorliegenden Arbeit dargelegt und mit Anwendungsbeispielen, mit zahlreichen Skizzen und Bildwiedergaben belegt.

Die verschiedenen Verfahren der Hochfrequenzkinematographie benutzen als Beleuchtungsquellen, sofern es sich nicht um selbstleuchtende Vorgänge handelt, ausnahmslos Funkenstrecken. Die bereits 1912 entwickelte Methode der Funkenkinematographie mit rotierendem Spiegel würde bei Anwendung der modernsten aber kostspieligen Hilfsmittel maximal 377000 Bilder pro Sek. gestatten. Handelt es sich aber bei rasch ablaufenden Vorgängen um die Aufnahme nur weniger aber zeitlich minimal — um Millionstel Sek. — voneinander abstehender Phasen, so ist ein einfaches Verfahren vorteilhafter. Wie aus der Abbildung ersichtlich wird, sind mehrere — im Bilde 8 — Funkenstrecken $f_1$—$f_8$ vorgesehen. Vor diesen ist ein photographisches Objektiv $O$ von 20 cm Öffnung und 270 cm Brennweite angeordnet. Zwischen den Funkenstrecken und dem Objektiv läuft der durch den Pfeil $G$ angedeutete Vorgang ab. Von diesem werden 8 durch die nacheinander ausgelösten Beleuchtungsfunken der Funkenstrecken beleuchtete Phasen durch die Abbildungsobjektive $P_1$—$P_8$ auf den hinter den letzteren angeordneten lichtempfindlichen Platten — Filmen — abgebildet. Unabhängig von der Funkenfrequenz, d. h. von der Bildfrequenz werden bei diesem Verfahren stets gleich große und gleich brauchbare Bilder erhalten. Besondere Versuche wurden erforderlich um bestimmte Frequenzen der Beleuchtungsfunken zu erzielen, über die ebenso wie über die dazu erforderlichen Mittel eingehend berichtet wird. Auf weitere Einzelheiten kann hier verzichtet werden.

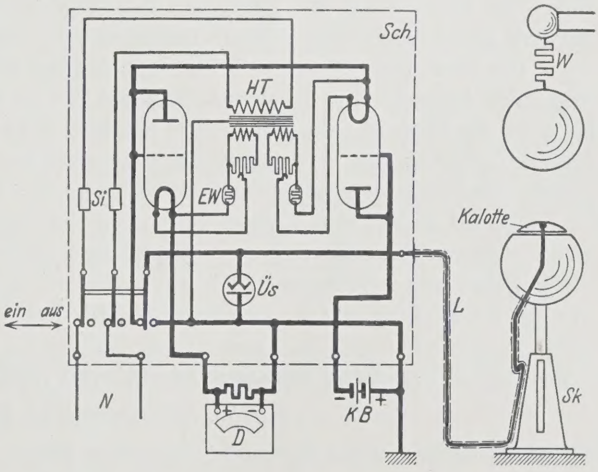



*W. Keil.*

## Über die Fehler der Scheitelspannungs-Messung vermittels röhrengleichgerichtetem Kondensatorstrom.

*Von* Hans König. *Helvetica Physica Acta* **2.** *S. 357—410. 1929.* (Dissertation Bern 1929.)

Die Auswahl an praktischen Meßinstrumenten, mit denen sehr hohe Wechselspannungen einwandfrei gemessen werden können, ist gering. Bekannt sind die in Deutschland vom Verband Deutscher Elektrotechniker genormten Kugelfunkenstrecken, die statischen Voltmeter von Hartmann & Braun und Dr. Starke-Schröder. Von der Firma E. Haefely & Co., Basel, wird ein Scheitelspannungsmeßgerät hergestellt, bei dem ein durch Röhren gleichgerichteter Kondensatorstrom mit Galvanometer gemessen wird. Die Abbildung zeigt die Schaltung des Geräts. Statt der in der Abbildung gezeichneten Wechselstromheizung sind jedoch Röhren mit indirekter Heizung zu verwenden. Den Werten für die Scheitelspannung haften gewisse Fehler an, z. B. gibt das Instrument bei Oberwellen der Grundfrequenz eine zu hohe Scheitelspannung an, da sämtliche Zwischenscheitel einen Beitrag zur Summe liefern. In der Arbeit wird gezeigt, daß der von dem Gleichrichter herrührende Anteil an den Fehlern durch geeignete Wahl der Kompensationsspannung so weit eliminiert werden kann, daß das Verfahren zu genauer Messung auch an mäßig verzerrten sowie technischer Messung an stark verzerrten Spannungen über 100 V verwendbar ist.




*Pfestorf.*

## Über einen neuen Apparat zur Registrierung der Ausschläge von Ein- und Zweifaden-Elektrometern.

*Von* O. Mathias und V. F. Hess. *Physikal. Zeitschr.* ***30.*** *S. 508-512. 1929.*

Vor einiger Zeit hat W. Kolhörster ein Gerät für die Registrierung der Höhenstrahlung konstruiert, das von den Verfassern durch grundlegende Änderungen wesentlich vervollkommnet worden ist. Bei ihren Arbeiten mit dem hier als bekannt vorausgesetzten Gerät von Kolhörster fanden die Verfasser es als sehr störend, daß die Skale des Okularmikrometers des Strahlungsgefäßes nicht mit den Elektrometerfäden abgebildet wird. Weiter erwies sich die Unveränderlichkeit des Bildfensters vor dem Registrierpapier als ein Mangel ebenso wie die unveränderlichen Belichtungskontakte an der Antriebsuhr und andere mehr. Als empfindlichster Mangel wurde jedoch der Umstand empfunden, daß die Entfernung des ganzen Registriergerätes vom Strahlungsgefäß notwendig wird, wenn der lichtempfindliche Streifen nach der Belichtung entnommen werden soll, wodurch jeweils eine neue umständliche Einstellung des Gerätes vor der folgenden Registrierung bedingt wird.

Diese Mängel beseitigen die Verfasser bei Ihrer Neukonstruktion. Diese besteht aus fünf Hauptteilen und stellt eine Kamera dar, bei der die Optik des Beobachtungsmikroskops als Objektiv wirkt. Über das Mikroskoprohr wird ein zylindrisches Rohr geschoben und festgeklemmt, das in ein konisches übergeht, an dem der Kassettenhalterahmen befestigt ist. In dem Kassettenrahmen, zur Aufnahme des Registrierzylinders, ist ein nach Höhe verstellbarer Spalt mit dahinterliegendem, zur Abdeckung des Spaltes dienendem Schieber angeordnet. Ein besonderer Rahmen trägt die den Verstellmöglichkeiten des Spaltes entsprechend bemessene Mattscheibe. Dieser Rahmen wird zur Einstellung scharfer Bilder auf den Halterahmen gesteckt. Ist dieser Zweck erreicht, wird der Mattscheibenrahmen wieder abgenommen und die Zylinderkassette auf den Halterahmen gesteckt und durch Verriegeln gesichert. Die Zylinderkassette besteht aus zwei genau ineinanderpassenden, verdrehbaren und mit Längsspalten versehenen Rohren. Das äußere Rohr weist einen dem Halterahmen entsprechenden Befestigungsrahmen auf; in dem umrahmten Teil des Rohres liegt der Längsspalt. Gegen diesen ist der Spalt des den Kassettenschieber darstellenden inneren Rohres verstellbar, soweit, daß das Innere der Rohre vollständig lichtdicht abgeschlossen wird. Die Registriertrommel, auf der wie üblich das Papier mittels einer Feder befestigt wird, ist in den Verschlußdeckeln an den Stirnseiten der Rohrkassette gelagert. An dem aus der Kassette herausragenden Achsenstutzen der Trommel wird die biegsame Welle zur Verbindung mit dem kräftigen, vom eigentlichen Registriergerät getrennten Antriebsuhrwerk befestigt. Eine Pendeluhr betätigt in gleichen Intervallen die Kontakte zur Belichtung. Der Abstand der Kontakte ist verstellbar. Das Antriebsuhrwerk braucht daher keinen hohen Gangansprüchen zu genügen.

Das Gerät befindet sich z. Z. bei einer längeren Beobachtungsreihe der Höhenstrahlung auf dem hohen Sonnenblick in Benutzung. Es eignet sich weniger für Expeditionsgebrauch, sofern nicht an Stelle der Pendeluhr ein Chronometer mit Kontakteinrichtung zur Verfügung steht. Von dem besonderen Zweck der Verwendung bei Höhenstrahlungsmessungen abgesehen, erscheint es für jegliche Art Laboratoriumsregistrierungen mit Hilfe von Fadenelektrometern geeignet.

Die Arbeit läßt eine Übersichtsskizze, die das Verständnis der Vorteile des Gerätes fördern würde, bedauerlicherweise vermissen; die beigegebenen photographischen Reproduktionen können diesen Zweck nur unvollkommen erfüllen. Auf einen Bericht über das anschließend beschriebene, für den Sonderzweck gebaute Auswertegerät kann hier verzichtet werden.

*W. Keil.*

## Eine elektromagnetische „Gleichungswaage".

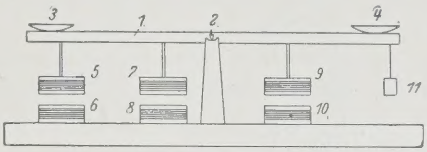
*Von* Georg Rosén. *Elektrot. Zeitschr.* ***50.*** *S. 1726—1727. 1929.*

Die elektromechanische „Gleichungswaage" dient zur Auflösung von Gleichungen der Form

$$ax + bx^2 + cx^3 + dx^4 + \cdots + k = o.$$

Sie besitzt einen Waagebalken auf dem außer einem Gewicht soviel Spulen verschiebbar angebracht sind, als der Ordnungszahl der Gleichung entspricht. In der Abbildung ist die Waage zur Auflösung von Gleichungen dritter Ordnung gezeichnet. Zu jeder Spule am Waagebalken gehört eine feste

Spule. Werden die Spulenpaare von Strom durchflossen, so üben sie eine Kraft aufeinander aus. Die Schaltung der Spulen ist so vorgenommen, daß die Ströme im ersten Spulenpaar 5—6 eine Kraft proportional einem einstellbaren Strom $x$, die Ströme im zweiten Spulenpaar 7—8 eine Kraft proportional der zweiten Potenz dieses einstellbaren Stromes $x$ usf. erzeugen. Die Größe des Gewichtes 11 ist gleich der zwischen zwei Spulen wirkenden Kraft bei der Einheit des Spulenstromes. Werden daher die Hebelarme der Spulen und des Gewichtes 11 entsprechend den Koeffizienten $a, b, c \ldots k$ der Glieder eingestellt, so spielt die Waage dann ein, wenn die Größe des einstellbaren Stromes $x$ einer Wurzel der Gleichung entspricht. Um die positiven Wurzeln aufzusuchen, sind sämtliche Spulen derart zusammenzuschalten, daß zwischen allen Spulenpaaren Anziehung stattfindet. Um negative Wurzeln zu suchen, ist bei denjenigen Spulenpaaren, die ungeraden Potenzen von $x$ entsprechen, der Strom in einer Spule zu wenden. Die Genauigkeit der Methode wird zu etwa 1 ‰ angegeben.




*Lh.*

## Beitrag zur Erhöhung der Genauigkeit thermoelektrischer Temperaturmeßanlagen.

*Von* Erich Otto. *Elektrot. Zeitschr.* ***50.*** *S. 1236—1237. 1929.*

Die bei thermoelektrischen Pyrometeranlagen der Praxis auftretenden Fehler teilt Verf. in drei Gruppen ein:

1. solche infolge von Schwankungen der Temperatur der kalten Lötstellen,
2. solche infolge von Schwankungen der Temperatur des Meßinstrumentes,
3. solche, die im Widerstand des Elementes und der Zuleitung bedingt sind.

Von diesen wird nur der Punkt 3 erörtert. Nimmt man (was den in der Praxis vorkommenden Werten entspricht) ein Verhältnis der Widerstände von Element und Galvanometer wie 1 : 200 an, so ergeben sich durch unvollständiges oder wechselndes Erwärmen der Länge der Meßschenkel Fehler, die einer einfachen Rechnung zufolge bei 1000° bis auf 1 % und darüber ansteigen können. Eine restlose Beseitigung dieses Fehlers dürfte nur durch Eichung der Instrumente am Ort und unter den Bedingungen ihres Betriebs gewährleistet sein. Eine derartige Untersuchung verursacht jedoch erheblichere Kosten und rechtfertigt nach Ansicht des Ref., wenn schon so genaue Temperaturmessungen nötig sind, die Anschaffung von Instrumenten mit Ausgleichsschaltung oder — bei tieferen Temperaturen — von Widerstandsthermometern. Weiter wäre zu berücksichtigen, daß bei den in Frage kommenden, „einfach geschalteten Temperaturmeßanlagen" der hier angegebene Fehler von 1 % bereits in die Größenordnung der Ablesefehler des Instrumentes, insbesondere bei Berücksichtigung des oben angegebenen Punktes 2 fällt.

Eine weitere Fehlerquelle übrigens, die um so mehr ins Gewicht fällt, als man mit schwankenden oder zu geringen Eintauchtiefen zu tun hat, und die nach Messungen des Ref. auch recht beträchtlich werden kann, ist die gerade bei dicken Elementdrähten große Wärmeableitung nach der Richtung der kalten Lötstellen hin. — Die am Schluß des Artikels mitgeteilte Beobachtung, daß bei hohen Temperaturen ein Nachlassen der EMK der Thermoelemente eintritt, die sich nicht durch Widerstandsmessungen bemerkbar macht, ist bekannt und auf Diffusion, bzw. Legierung der Metalle der beiden Schenkel zurückzuführen. *Sewig.*

## Über eine Methode zur Erzeugung langer Metall-Einkristalle und über Untersuchungen der die Kristall-Orientierung und Vollkommenheit beeinflussenden Umstände.

*(A method of producing long single-crystals of metal and a study of the factors influencing crystall-orientation and perfection.)*

*Von* A. Goetz *und* M. F. Hasler. *Proc. Nat. Acad. of Sciences.* ***15.*** *S. 646—655. 1929.*

Die Untersuchungen der Verf. der in der Überschrift mitgeteilten Art an Einkristallen setzten eingehende Studien über die Erzeugung von Einkristallen voraus. Dementsprechend werden zunächst

die zur Erzeugung solcher Kristalle hauptsächlich angewendeten — 3 — Methoden diskutiert, vor allem unter dem Gesichtswinkel, ob sie für den beabsichtigten Zweck gegeignet sind.

Um Einkristalle beliebiger Länge, deren Durchmesser nicht mehr als um 1% schwankt, herzustellen, wendeten die Verf. ein Verfahren an, dessen Apparaturen anhand von zwei Abbildungen beschrieben werden soll. In Abb. 1 wird das Metall — es wird Wismut genannt — in dem Schmelztiegel $A$ aus Pyrex geschmolzen. Zur Reduktion der Metalloberfläche wird in den Tiegel durch das Rohr $B$ sehr reiner Wasserstoff geleitet, der durch den schornsteinartigen Ringzylinder bei $C$ ausströmt und an der Ausströmstelle mit den Reduktionsbeimengungen verbrannt wird. Das Metall im Tiegel $A$ wird durch den Ofen $F$ auf 500° Celsius erhitzt, damit die Reduktion schnell vor sich geht. Die zu einer Kapillare ausgezogene, zunächst aber unten zugeschmolzene, in den Tiegel $A$ durch die Öffnung $C$ einführbare Glasröhre $X$ wird durch den Heizkörper $E$, den die Gleitarme $G_1$, $G_2$ an dem Stativ $Q$ halten, erhitzt, danach evakuiert. Sobald das Metall reduziert ist wird die Röhre $X$ gesenkt, das zugeschmolzene Ende abgebrochen und das nunmehr offene Ende in das Metall getaucht. Ist das geschehen, wird das flüssige Metall in der Röhre langsam bis zu der durch $S$ bezeichneten Höhe eingesaugt. Danach wird das Rohr $X$ wieder so weit gehoben, daß der Tiegel $A$ durch den schwenkbaren Deckel $D$ abgedeckt werden kann. Auf die mit Asbest belegte Stelle des Deckels wird dann die offene Kapillare gestellt, wodurch verhindert wird, daß das noch flüssige Metall aus der Röhre wieder ausfließt. Das durch ein Drahtseil mit dem Heizkörper $E$ verbundene Gewicht $L$ hält Gleichgewicht zwischen beiden. Außerdem wird der Heizkörper mittels Seilzug und über ein Schneckengetriebe von einem Motor mit einer Geschwindigkeit vom 5 mm/min gehoben. Durch einen leichten Luftstrom wird der Deckel $D$ gekühlt, so daß die Kristallisation, in der Kapillare beginnend, gleichmäßig im Rohr $X$ fortschreitet.

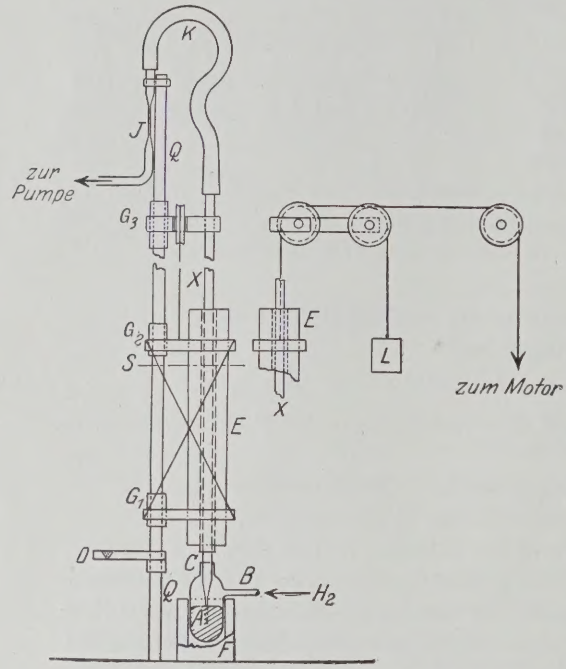


Abb. 1.

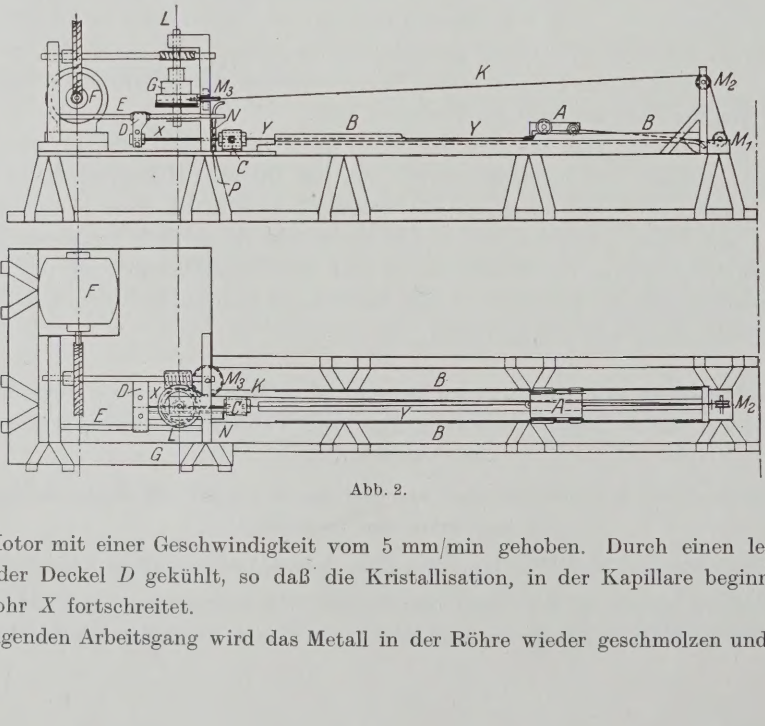


Abb. 2.

Im folgenden Arbeitsgang wird das Metall in der Röhre wieder geschmolzen und gleichzeitig

mit letzterer ausgezogen, wodurch eine neue Kristallisation eingeleitet wird. Hierzu wird der in Abb. 2 im Auf- und Seitenriß gezeichnete Apparat benötigt. Die Klaue $D$ hält das eine Ende der von oben bekannten, den Kristall enthaltenden Röhre $X$. Diese durchsetzt den elektrischen Ofen $C$ und ist mit dem anderen Ende auf dem Wagen $A$ befestigt, der auf den Führungen $BB$ spurt. Der Wagen $A$ wird bei dem Ziehvorgang von dem Motor $F$ über ein Schneckengetriebe mittels der durch die Rollen $M_1$, $M_2$, $M_3$ geführten Kette $K$, die sich um die Trommel $G$ windet, gezogen. Gleichzeitig wird die erwähnte Klaue $D$, die von den Stangen $E$ — in der Abb. 1 ist nur die eine zu sehen — geführt wird, mit dem Rohr $X$ der Wagenbewegung nachgeschoben. Hierzu wird die Drehung desselben Motors $F$ über zwei Schneckengetriebe auf die Trommelwelle $L$ übertragen, die durch ein — nicht sichtbares — Zahnrad mit der an der Klaue befestigten Zahnstange $N$ im Eingriff steht. Die Bewegung der Klaue kann zwischen 0,2 und 10 mm/min verändert werden. Die besten Zieheresultate wurden dann erlangt, wenn die Bewegungen des Wagens und der Klaue sich wie 3 : 1 verhielten. Wurde dabei die Umdrehungszahl des Motors und ebenso die Temperatur des Ofens $C$ konstant gehalten, so wurden sehr lange Einkristalle erhalten, deren Länge in den Abmessungen des Gerätes bei 1,5 m ihre obere Grenze fand. Der gemeinsame Antrieb des Wagens und der Klaue stellte unabhängig von der Drehzahl des Motors das Bewegungsverhältnis sicher. Für Dicken zwischen 1—2 mm genügte im allgemeinen ein Ziehgang. Ein mittlerer plastischer Zustand des Glases ist für das Gelingen unerläßliche Voraussetzung; er erfordert sorgfältige Regelung des Ofens und Motors. Wird diese Regelung durchgeführt, dann tritt die Verfestigung nach dem Ziehvorgang in einem bestimmten Abstand vom Ofen ein. Damit wird es möglich, die Wirkung gewisser Einflüsse auf den Kristallisationsvorgang zu untersuchen.

Die Verfasser behandeln anschließend ihre Versuche, den Einfluß des Temperaturgradienten in der Verfestigungszone auf die Kristallorientierung zu ermitteln. Es zeigt sich, daß dieser Einfluß nicht der die Orientierung allein bestimmende ist. Auf die Einzelheiten über diese Fragen kann hier aber nicht eingegangen werden, ebenso wie über die vielen für das Arbeiten mit den beschriebenen Geräten gegebenen Winke und Vorschriften in extenso nicht berichtet werden kann.

*W. Keil.*

### Über einen Impulszähler und seine Anwendung.

*(An impulse counter, tallying device and electric „stopwatch" — a useful laboratory instrument.)*

*Von* P. E. Klopsteg. *Journ. Opt. Soc. of Am.* ***19.*** *S. 345—349. 1929.*

Verfasser beschreibt ein Gerät, bei dem der Anker eines Elektromagneten über eine Schaltklinke ein mit 60 Zähnen versehenes Schaltrad, auf dessen Achse über einem Zifferblatt ein Zeiger befestigt ist, entsprechend den Stromstößen, die die Magnetwicklungen durchfließen, schaltet. Die Besonderheit des Gerätes besteht darin, daß es bis zu 125 Impulse in der Sekunde störungsfrei zählt, was auf mechanisch sauber ausgeführte, leicht ansprechende bewegliche Teile zurückzuführen ist. Einzelheiten über den Bau werden nicht mitgeteilt; die beschriebenen Anwendungen beanspruchen allgemeineres Interesse nicht.

Geräte, die demselben Zweck dienen, sind in der Literatur vielfach beschrieben worden und sind auch in der Technlk und im physikalischen Laboratorium in großer Zahl in Benutzung.

*W. Keil.*

---

## Bücherbesprechungen.

**Theodor Vahlen,** Deviation und Kompensation. Neue Grundlegung der Theorie, neue Anwendung auf die Praxis. 8⁰. VIII, 188 S. mit 27 Abb. Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig 1929. Geb. RM 9,60.

In dem vorliegenden Werk faßt der Verfasser das Problem der Deviation des Magnetkompasses in einer von den bisherigen Methoden abweichenden Weise an. Während in den älteren, dieses Gebiet behandelnden Werken zuerst die Deviation allein ausführlich behandelt wird und zuletzt Anweisungen für die Kompensation gegeben werden, führt der Verfasser in seinem Buche gleich am Anfang die Begriffe Deviation und Kompensation nebeneinander ein; wo Deviationen auftreten, werden auch die Wege zur Kompensation angegeben. Für den Mathematiker Prof. Dr.

Vahlen war es naheliegend, bei der Ableitung der Formeln die Determinanten anzuwenden, wodurch die Formeln kürzer und übersichtlicher werden. Das Buch ist eingeteilt in 44 teilweise nur kurze Abschnitte und wird dadurch sehr übersichtlich gestaltet. In den ersten 27 Abschnitten entwickelt der Verfasser die Theorie der Deviation und Kompensation und bringt in weiteren 17 Abschnitten Vorschläge und Anweisungen für praktische Kompensationen. Eine Neuerung gegenüber allen bisher üblichen Kompensationsmethoden ist die vom Verfasser zum ersten Male eingeführte dritte Hauptlage: Die Lage eines Magnets in einer zur Feldstärkenrichtung in O senkrechten Geraden. Im siebenten Abschnitt behandelt der Verfasser den Poissonschen Satz und bemerkt dazu, daß Poisson keine einschränkenden Voraussetzungen für die Gültigkeit seines Satzes macht. Bedenkt man jedoch erstens, daß zu Poissons Zeit, also vor etwa einhundert Jahren, fast nur hölzerne Schiffe gebaut wurden, auf denen nur flüchtiger Schiffsmagnetismus auftrat, zweitens, wie gewissenhaft man damals jedes Eisen aus der Umgebung des Kompasses fernhielt, so leuchtet es ein, daß Poisson keine einschränkenden Voraussetzungen machte. Die Kleinheit der Nadeln gegenüber den Entfernungen der auf sie einwirkenden Kräfte war für ihn selbstverständlich. Die weitere Feststellung des Verfassers, daß die Theorie der neun Stäbe von Archibald Smith stets als Beweis des Poissonschen Satzes angesehen wird, trifft für den „Kompaß an Bord" (2. Aufl. 1906), nicht zu. Dort heißt es auf S. 81 im Abschnitt „Physikalische Bedeutung der Deviationskoeffizienten: „ . . . Durch ähnliche Überlegungen überzeugt man sich leicht, daß jedes der in den Poissonschen Gleichungen auftretenden Produkte der Induktionskoeffizienten mit den Komponenten der erdmagnetischen Kraft durch die Wirkung einer einzelnen Stange von weichem Eisen dargestellt werden kann. . . ." Auch im „Kleines Kompaßlexikon" von Prof. Dr. Meldau und in den Lehrbüchern der Navigation ist nur von einer Darstellung der Wirkung des flüchtigen Schiffsmagnetismus durch die neun Stäbe die Rede.

Die im Abschnitt „Die Formeln" auf S. 32 aus dem Lehrbuch der Navigation (2. Aufl. 1906. Reichsmarineamt, Berlin, Bd. I. S. 133) angeführte unrichtige Formel ist in der Neuausgabe: Lehrbuch für den Unterricht in der Navigation an der Kaiserlichen Marineschule (Berlin, 1917, S. 417) bereits richtig wiedergegeben. In diesem Abschnitt entwickelt der Verfssser weiter aus den Poissonschen Grundgleichungen $\delta$ in Fourier-Reihen nach den Kosinus und Sinus der Vielfachen von $\zeta$, und zwar berechnet er die ersten 9 Glieder dieser Reihen. Sodann entwickelt er $\delta$ in eine Fourier-Reihe nach $\zeta'$, stellt jedoch hier gleich die abgeleitete Formel:

$$\delta = A + B \sin \zeta' + C \cos \zeta' + D \sin 2\zeta' + E \cos 2\zeta' + \cdots$$

voran und beweist unter Zuhilfenahme der Fourier-Reihe von $\delta$ nach $\zeta$ ihre Richtigkeit. Die Glieder der Vahlenschen Formel drücken aber die Beziehungen zwischen $\delta$ und $\zeta'$ nach der exakten Formel:

$$\sin \delta = \mathfrak{A} \cos \delta + \mathfrak{B} \sin \zeta' + \mathfrak{C} \cos \zeta' + \mathfrak{D} \sin (2\zeta' + \delta) + \mathfrak{E} \cos (2\zeta' + \delta)$$

aus. Ihre Koeffizienten haben demnach eine etwas andere Bedeutung als diejenigen der in der Deviationslehre allgemein gebräuchlichen Näherungsformel:

$$\delta = A + B \sin \zeta' + C \cos \zeta' + D \sin 2\zeta' + E \cos 2\zeta' + \cdots .$$

Demnach sind:

| Nach Vahlen | Nach „Kompaß an Bord" |
|---|---|
| $A = \operatorname{arc\,tg} \mathfrak{A}$, | $A = \mathfrak{A}$, |
| $D = \dfrac{\mathfrak{D} - \mathfrak{A}\mathfrak{E}}{1 + \mathfrak{A}^2}$, | $D = \mathfrak{D}$, |
| $E = \dfrac{\mathfrak{E} + \mathfrak{A}\mathfrak{D}}{1 + \mathfrak{A}^2}$, | $E = \mathfrak{E}$, |
| $H = \dfrac{(\mathfrak{D} - \mathfrak{A}\mathfrak{E})^2 - (\mathfrak{E} + \mathfrak{A}\mathfrak{D})^2}{2(1 + \mathfrak{A}^2)^2} = \dfrac{D^2 - E^2}{2}$, | $H = \dfrac{\mathfrak{D}^2}{2}$. |
| $K = \dfrac{(\mathfrak{D} - \mathfrak{A}\mathfrak{E})\,(\mathfrak{E} + \mathfrak{A}\mathfrak{D})}{(1 + \mathfrak{A}^2)^2} = DE.$ | |

Bei den folgenden Koeffizienten vernachlässigt Vahlen die Glieder, die in $\mathfrak{B}$, $\mathfrak{C}$ von mindestens vierter Ordnung sind und die Glieder, die in $A$, $D$, $E$ von mindestens zweiter Ordnung sind, während

der „Kompaß an Bord“ alle Glieder von höherer als der zweiten Ordnung wegfallen läßt. Demnach sind:

Nach Vahlen

$$B = \mathfrak{B}\left[1 - \frac{1}{2}D + \frac{1}{8}(\mathfrak{B}^2 + \mathfrak{C}^2)\right] - \frac{1}{2}\mathfrak{C}E,$$

$$C = \mathfrak{C}\left[1 + \frac{1}{2}D + \frac{1}{8}(\mathfrak{B}^2 + \mathfrak{C}^2)\right] - \frac{1}{2}\mathfrak{B}E,$$

$$F = \frac{1}{2}(\mathfrak{B}D - \mathfrak{C}E) - \frac{1}{24}(\mathfrak{B}^3 - 3\,\mathfrak{B}\mathfrak{C}^2),$$

$$G = \frac{1}{2}(\mathfrak{B}E + \mathfrak{C}D) - \frac{1}{24}(3\,\mathfrak{C}\mathfrak{B}^2 - \mathfrak{C}^3).$$

Nach „Kompaß an Bord“

$$B = \mathfrak{B}\left(1 - \frac{\mathfrak{D}}{2}\right),$$

$$C = \mathfrak{C}\left(1 + \frac{\mathfrak{D}}{2}\right),$$

$$F = \frac{\mathfrak{B}\mathfrak{D}}{2},$$

$$G = \frac{\mathfrak{C}\,\mathfrak{D}}{2}.$$

Der Vorschlag des Verfassers, die Abkürzung der Formeln nur von Fall zu Fall vorzunehmen, kann in der Praxis nicht durchgeführt werden, denn dies würde zu Schwierigkeiten führen. Der praktische Nautiker muß eine Formel zur Hand haben, die ihm ermöglicht, ohne große Zeitvergeudung schnell und sicher die Deviationskoeffizienten zu berechnen. Die bisherige Näherungsformel erfüllt diesen Zweck. Darüber hinaus sind die Vahlenschen Ableitungen zur gründlichen Beleuchtung der Beziehungen zwischen $\delta$ und $\zeta'$ wertvoll und lehrreich.

Die Möglichkeit des Kompensierens wird heute auch noch mitunter überschätzt. So konnte nach dem Kriege bei Kompaßregulierungen auf Handelsschiffen manchmal festgestellt werden, daß die Bedingung, wonach bewegliche Eisenmassen 4 — 5 m vom Kompaß entfernt sein müssen und im Umkreis von mindestens 2 m keine Eisenmassen vorhanden sein sollen, beim Bau des Schiffes nicht beachtet worden ist.

Im Abschnitt „Deviation durch Lage“ leitet der Verfasser für den „vollregulären“ Fall die Formel:

$$\delta i = \delta + \frac{1}{\lambda}\left(e - k - \frac{R}{Z}\right) \operatorname{tg} \frac{\Theta}{\lambda}$$

ab und nennt den Faktor $\left(e - k - \frac{R}{Z}\right) \operatorname{tg} \frac{\Theta}{\lambda}$ den Krängungsfaktor. Im „Kompaß an Bord“, 1906, S. 89—92, wird die folgende Formel für die Krängungsdeviation abgeleitet:

$$\delta i - \delta = -\varkappa i \cos\zeta' + \frac{c - g}{2\lambda} i - \frac{c + g}{2\lambda} i \cos\zeta'.$$

Hier wird der in der Praxis gewöhnlich vorkommende Fall berücksichtigt, daß $c$ und $g$ größer als Null sind und $\varkappa = \frac{k - e}{\lambda} \operatorname{tg} \mathfrak{J} + \frac{R}{\lambda H}$ als Krängungskoeffizient bezeichnet. Beide Ausdrücke für den Krängungsfaktor bedeuten dasselbe. Der vom Verfasser abgeleitete Vertrimmungsfaktor: $\left(a - k - \frac{R}{Z}\right) \frac{\operatorname{tg} \Theta}{\lambda}$ ist für die theoretische Behandlung dieser Fragen bedeutungsvoll, praktisch könnte er bei der Berechnung der Deviation von Luftfahrzeugkompassen angewendet werden[1].

Die Ausführungen über die kardanische Aufhängung sind beachtenswert. Zu dem Abschnitt „Deviation durch Kompaß- und andere Fehler“ kann gesagt werden, daß bei guten, amtlich von der Seewarte geprüften Kompassen Fehler durch unrichtig angebrachte Steuermarken, Exzentrizität, Schiefhängen, Teilungsfehler usw. nicht vorkommen dürfen. Der Kompaßbau ist in der Lage, in dieser Hinsicht fehlerfreie Instrumente zu liefern. In den darauffolgenden Abschnitten gibt der Verfasser Anweisungen zur Beobachtung und Berechnung magnetischer Elemente durch Horizontal- und Vertikalkraftmessungen und eine Anleitung zur Berechnung der Koeffizienten der exakten Deviationsformel aus acht Beobachtungen auf den Haupt- und Hauptzwischenstrichen.

Weiter behandelt der Verfasser ausführlich: induzierte Körper, Fernwirkung, Poissonsche Körper, Umschlußkörper, nahe Körper und die Erzeugung Nicht-Poissonscher Deviationen, um vom 28. Abschnitt ab zur Kompensation überzugehen. Im 30. Abschnitt wird eine Darstellung und Kompensation durch Kugeln und im 31. Abschnitt Darstellung und Kompensation durch Stäbe und Kugeln behandelt. Bei der Beschreibung der Kompensation des flüchtigen Schiffsmagnetismus und der Lage des Flindersstabes sagt der Verfasser wörtlich: „ . . . Er liegt senkrecht, Richtung (0,0,1) in der

[1] Rottok, Deviationstheorie. 1903. S. 121.

XZ-Ebene, das obere Ende in der X-Achse, hinter (vor) dem Kompaß, wenn $c$ negativ (positiv) ist. Abb. 13 . . .". Diese Darstellung ist nicht richtig. Durch eine solche Anbringung der Flindersstange wird $\frac{c}{\lambda}$ nicht kompensiert, sondern vergrößert. Die Flindersstange muß auf Nordbreite vor dem Kompaß angebracht werden, wenn $\frac{c}{\lambda}$ negativ, und hinter dem Kompaß, wenn $\frac{c}{\lambda}$ positiv auftritt. Im Abschnitt „Unmittelbare Kompensation" sagt der Verfasser auf S. 146: „ . . . Durch Versetzen der drei Magnete paßt man sich also jeder magnetischen Breite an, was angängig ist, da merkliche Breitenänderungen verhältnismäßig langsam erfolgen. Das ist der Grund, weshalb der Flindersstab zur Kompensation von $c$ und evtl. $f$ (und $k$) wenig Anwendung findet". In einer Fußnote wird auf *Ann. d. Hydrographie, 1905, S. 122* verwiesen. Seitdem sind 25 Jahre vergangen. Heute werden Flindersstangen an den Kompassen solcher Schiffe, die auf ihren Reisen größere Breitenänderungen vornehmen, durchweg da angebracht, wo sie nötig sind, d. h., wo ein größeres $\frac{c}{\lambda}$ auftritt.

Im Abschnitt „Reihenfolge der Kompensation" schlägt der Verfasser als vorteilhafter vor zuerst den festen, dann den flüchtigen Schiffsmagnetismus zu kompensieren. In der Praxis ist es nicht immer möglich, diesem Vorschlag entsprechend zu verfahren. Man muß die Möglichkeiten ausnützen, wie sie sich bieten. Der Vorschlag aber, starke, ferne Festmagnete nahen, schwachen vorzuziehen, ist sehr beachtenswert, weil durch seine Anwendung das homogene Feld am Kompaßort erweitert werden kann. Des weiteren kann zu den Ausführungen des Verfassers über die Bezeichnungssysteme der Kompaßstriche folgendes gesagt werden: In der deutschen Schiffahrt ist nur eine Bezeichnungsart gebräuchlich. Zur Aufklärung sei hier die Bezeichnung der Viertelstriche des Oktanten von N bis NO gegeben: N, N$^1/_4$O, N$^1/_2$O, N$^3/_4$O, NzO, NzO$^1/_4$O, NzO$^1/_2$O, NzO$^3/_4$O, NNO, NNO$^1/_4$O, NNO$^1/_2$O, NNO$^3/_4$O, NOzN NO$^3/_4$N, NO$^1/_2$N, NO$^1/_4$N, NO. Die Bezeichnung der Achtelstriche ist sinngemäß mit denselben Endungen. Diese Bezeichnungsart läßt sofort den zum Kurs zugehörigen Gegenkurs erkennen. Z. B. Kurs: NNO$^3/_4$O, Gegenkurs: SSW$^3/_4$W.

In einem weiteren Abschnitt macht der Verfasser Vorschläge für eine magnetische Eichung der Kompensationskörper — die Tafel der Zahlenwerte hierzu enthält Rechenfehler — und gibt im 39. Abschnitt eine ausführliche Anweisung für die Durchführung einer vollständigen Kompensation, die durch folgende 5 Schritte vorgenommen werden soll:

1. Beobachtung der Horizontalkomponente $H'$ und der Vertikalkomponente $Z'$ durch Horizontal- und Vertikalkraftmessungen,

2. Berechnung der Deviationselemente nach den Poissonschen Grundgleichungen,

3. Berechnung der Kompensatoren,

4. Anbringung der Kompensatoren,

5. Andere Möglichkeiten: Kompensation mit 2 Stäben und einer Kugel oder mit 3 Stäben, statt mit 2 Kugeln und einem Stab.

Die kurze Abhandlung über den trägen oder halbfesten Magnetismus, von dem der Verfasser selbst mit Recht sagt, daß er ein unsicheres Element bleibt, zeigt eigentlich eine Überschätzung der Kompensationsmöglichkeiten. Es ist sehr wenig zweckmäßig, zu versuchen, die Wirkung des trägen Schiffsmagnetismus zu kompensieren. Die Schiffsleitung muß mit seinem Wesen bekannt sein und ihn berücksichtigen, wenn er auftritt oder die Möglichkeit zu seinem Auftreten besteht. Beachtenswert sind ferner die Ausführungen über die Kompensation der Vertikalkomponente $\frac{k-e}{\lambda}$ des flüchtigen Schiffsmagnetismus. Der Verfasser verweist auf den natürlichen Weg der Kompensation durch einen k-Stab, der mit dem Flindersstab zu einem Stabe vereinigt werden kann. Diesen Weg will neuerdings auch Koldewey[1] beschreiten.

Im letzten Abschnitte gibt der Verfasser eine Übersicht der Ergebnisse und sagt zum Schlusse nach Anführung eines Ausspruches Meldaus, den er den besten Kenner des Kompaßwesens und

---

[1] Koldewey, Der Schwimmkompaß als Präzisionsinstrument. *Ann. d. Hydrographie 1929. S. 196.*

der Deviationslehre nennt, das folgende, in dem wir vollständig mit ihm übereinstimmen: „Der Praktiker, dem es der Theorie zu viel scheint, möge bedenken, daß der Baum der Wissenschaft die Früchte für die Praxis nicht ohne die Blätter der Theorie hervorbringen kann".

Das Buch Theodor Vahlens bedeutet eine wertvolle Ergänzung und Vervollkommnung des bisher über das Gebiet des Kompaßwesens und der Deviationslehre bestehenden Schrifttums. Leider fehlt eine eingehendere Bearbeitung der Nadelinduktion, deren genaue Kenntnis bei der heute anzustrebenden breitenbeständigen Kompensation unbedingt erforderlich ist. Das Werk verdient die Aufmerksamkeit nautischer Kreise, der Deutschen Seewarte und der Seefahrtsschulen sowie besonders derjenigen, die, mit genügenden eigenen Kenntnissen ausgerüstet, an der Verbesserung und Vervollkommnung des Magnetkompasses arbeiten wollen. *G. Thiel.*

**B. Gutenberg,** Lehrbuch der Geophysik. Lief. 5 (Schluß). 8⁰. XX, 1017 S. m. 412 Abb. i. Text u. 2 Taf. Gebrüder Bornträger, Berlin 1929. Geh. R$\mathcal{M}$ 18.—.

Mit der vorliegenden 5. Lieferung wird ein Werk abgeschlossen, das es sich zum Ziele gesteckt hat, über den Rahmen einer Enzyklopädie hinaus ein Lehrbuch der heute so weit verzweigten Materie der Geophysik zu sein. Wie schon die ersten Lieferungen das Geschick Gutenbergs zeigten, hervorragende Kenner der Materie heranzuziehen und trotz der zahlreichen Mitarbeiter eine große Einheitlichkeit der Darstellung zu erzielen, paßt sich auch diese Lieferung dem Rahmen des Lehrbuches sehr gut an.

Die Lieferung enthält die Darstellung der Mechanik und Thermodynamik der Atmosphäre von Weickmann und seinem Mitarbeiter Haurwitz, und als letzten Abschnitt gibt Gutenberg eine Zusammenstellung Geophysik und Lebewesen.

In der Mechanik und Thermodynamik der Atmosphäre bringen die Verfasser zunächst die Beobachtungsmethoden und besprechen unter Hinweis auf die hauptsächlichsten Literaturstellen die instrumentellen Hilfsmittel. Von den Temperaturänderungen der trockenen Luft bei Vertikalbewegungen nach dem Vorgange von Emden ausgehend, behandeln sie die adiabatische Zustandsänderung feuchter Luft und schließen die Darstellung der polytropen Atmosphäre mit Stabilitätsbetrachtungen der Luftschichtung, bei der besonders auf die Vorteile der neuen Tephigramme, so genannt, weil als Ordinaten die absolute Temperatur $T$ und die Entropie $\varphi$ ausgewählt sind, eingegangen wird. Nach einer trotz Gedrängtheit ausgezeichneten Betrachtung der Temperaturverteilungen mit der Höhe und der damit zusammenhängenden Probleme wird dann der Austausch und die Reibung der Luftbewegungen und die Einflüsse des Austausches auf das Klima besprochen. Die Sätze der Zirkulation im großen und kleinen schließen sich an und leiten zu einer Betrachtung der allgemeinen Zirkulation der Atmosphäre unter Berücksichtigung der neuesten Forschungsergebnisse über. Gut zusammengefaßt folgen dann die verschiedensten Störungen der Zirkulation, eingeleitet durch eine ausführliche Darlegung der Bjerknesschen Störungsgleichungen, und eine Reihe von Analogien aus der Hydrodynamik. Ganz kurz werden noch die analogen Kenntnisse über die Meeresströmungen vermittelt unter hervorragender Berücksichtigung der Ergebnisse der Meteor-Expedition. Zwei kleine besondere Abschnitte sind dann noch den periodischen Vorgängen in der Atmosphäre und dem Klimaänderungsproblem gewidmet. Ausgezeichnetes Bildermaterial unterstützt die Darstellung.

Der Schlußabschnitt Gutenbergs bringt die Einflüsse der geophysikalischen Erscheinungen auf Menschen, Tiere und Pflanzen, die „Wetterempfindlichkeit" der Menschen und die Einflüsse auf die Entwicklung der verschiedensten Organismen. Er schließt mit der Bedeutung der geophysikalischen Forschungsergebnisse für die Allgemeinheit. *P. Duckert.*

**Clarence Augustus Chant,** Die Wunder des Weltalls. Eine leichte Einführung in das Studium der Himmelserscheinungen. Ins Deutsche übertragen von Dr. W. Kruse-Bergedorf. Bd. 9 der Sammlung Verständliche Wissenschaft. 8⁰. VIII, 184 S. m. 138 Abb. Julius Springer, Berlin 1929. Geb. R$\mathcal{M}$ 5,80.

Inhalt und Darstellungsweise des vorliegen Buches erfüllen seinen Zweck mit großem Geschick. Die drei Hauptteile — das Himmelsgewölbe und seine Bewegung, die Sonne und ihr System, die Welt der Sterne — enthalten alles, was dem gebildeten Laien näher gebracht werden kann. Die

unterhaltsame, von Begeisterung getragene Eindringlichkeit der Schilderungen wird durch zahlreiche vorzügliche Abbildungen unterstützt, die z. T. Astroaufnahmen bekannter amerikanischer Instrumente entstammen. Das Buch kann — auch mit Rücksicht auf seinen Preis — auf das wärmste empfohlen werden. *G.*

**G. Berndt,** Die deutschen Gewindetoleranzen. Mit einem Geleitwort von W. Hellmich. gr. 8⁰. VIII, 179 S. m. 61 Textabb. u. 70 Zahlentafeln. Julius Springer, Berlin 1929. R$\mathscr{M}$ 16,50; geb. R$\mathscr{M}$ 18,50.

Der in dem hier angezeigten Buche behandelte Stoff berührt das Arbeitsgebiet unserer Zeitschrift insofern, als die Grundlage für die Überwachung der Gewindetoleranzen, namentlich die hierfür nötigen Messungen, zum Teil instrumentelle Hilfsmittel hoher Präzision voraussetzen, ganz abgesehen davon, daß die Feinmechanik auch fertigungstechnisch lebhaft an den Gewindetoleranzen interessiert ist.

Der Verf. betrachtet das vorliegende Werk als Ergänzung zu seinem in *dieser Zeitschr.* ***45****. S. 591. 1925* besprochenem Buche „Die Gewinde“, ohne die Kenntnis des letzteren vorauszusetzen.

Trotz siebenjähriger Vorarbeiten, an denen der Verf. führend teilgenommen hat, sind die Toleranzen noch keineswegs für alle Gewinde-Normen festgelegt. Die hier gegebenen Darlegungen bilden deshalb eine wichtige Grundlage für die weitere Arbeit und ihren Abschluß.

Man gewinnt von dem Inhalt des Buches den Eindruck, daß die formalen Festsetzungen über die Toleranzen der erreichbaren Fertigungs- und Meßgenauigkeit und damit auch der Wirtschaftlichkeit mehr Rechnung zu tragen suchen als früher. *G.*

**Hans Hederich.** Der Lizenzvertrag, erläutert an Beispielen aus der Praxis. 10. Aufl. 8⁰. 80 S. Friedr. Huth. Berlin-Charlottenburg 4, 1929. Geh. R$\mathscr{M}$ 1,80.

Das Buch gibt eine für Patentinhaber und Konstrukteure willkommene Anleitung zur Aufstellung lückenloser Lizenzverträge. Die rechtlichen und technischen Grundlagen hierfür sind in gemeinverständlicher Form dargelegt. Ein umfangreiches Quellenverzeichnis über geschichtliche Entscheidungen und einschlägige Veröffentlichungen erhöht den Wert der bereits in 10. Aufl. erscheinenden Schrift. *G.*

---

**Neue Preisliste Nr. 6 von B. Halle Nachf.,** Optische Werkstätten in Berlin-Steglitz.

Von der genannten Firma ist ein neuer, reich ausgestatteter Katalog in deutscher und englischer Sprache erschienen, der eine Übersicht über die Erzeugnisse der Firma gibt und gleichzeitig den hohen Stand der deutschen optischen Industrie beweist. Wie aus dem Vorwort hervorgeht, werden dauernd bestellte Artikel in laufender Serienfabrikation zu entsprechend gestellten Preisen erzeugt. Es ist daher für wissenschaftliche Forschungsinstitute von Wichtigkeit, bei der Konstruktion von Versuchsapparaten in bezug auf die optische Ausstattung eine Durchsicht des Kataloges vorzunehmen, wobei sich in vielen Fällen ergeben wird, daß der gerade gebrauchte optische Teil bereits ausgeführt ist, oder sich durch eine andere Anordnung von geringerer Preislage ohne Nachteil ersetzen läßt. Im einzelnen enthält die Preisliste die von der Firma hergestellten Optiken, die in Glas, Quarz, Flußspat, Kalkspat, Turmalin, Gips, Glimmer, Sylvin und Steinsalz ausgeführt werden. Eine gute bildliche Darstellung zeigt die technische Ausführung der Erzeugnisse der Firma von Objektiven, Prismen verschiedener Art, planparallelen Platten (Lummer-Gehrke-Etalon) Cuvetten, Lummer-Brodhun-Würfel usw. Kurze Erläuterungen geben bei jeder Type die Anwendungsmöglichkeiten, Behandlung, sowie die Abmessungen an. *Spiller.*

**Neue Preislisten der E. Leybolds Nachfolger A. G. in Köln-Berlin.**

Die Firma hat ein neues Verzeichnis ihrer physikalischen Apparate in einem stattlichen Folioband von 461 Seiten mit zahlreichen Abbildungen herausgegeben. Das Buch gibt nicht nur eine Übersicht über alle nur denkbaren physikalischen Unterrichtsmittel in neuzeitlicher Anordnung und vollkommener Ausstattung, sondern legt auch Zeugnis ab von dem Bestreben, neue bewährte Konstruktionen für Forschungszwecke zu bauen und damit allgemein zugänglich zu machen. Auf eine Sonderliste elektrischer Meßinstrumente sei besonders hingewiesen. *G.*

Nachdruck verboten.

Verantwortlich für die Redaktion: Oberregierungsrat Professor Dr. F. Göpel in Charlottenburg.
Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

# Zeitschrift für Instrumentenkunde.

*Kuratorium:*

Prof. Dr. **E. Kohlschütter** in Potsdam, Vorsitzender, Prof. Dr. **R. Straubel** in Jena,
Prof. Dr. **F. Weidert** in Berlin-Zehlendorf, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat i. R. Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

50. Jahrgang. **September 1930.** Neuntes Heft.

## Beiträge zur Theorie des Doppelbild-Tachymeters von Boßhardt-Zeiss.

Von

**Viktor Theimer** in Leoben.

Der wesentlichste Bestandteil des Boßhardtschen Instrumentes[1] ist ein sogenannter Drehkeil, welcher aus zwei hintereinander geschalteten achromatisierten Glaskeilen besteht, die gegeneinander verdreht werden können.

Ehe man daran geht, die Theorie des Boßhardtschen Instrumentes zu besprechen, empfiehlt es sich, zunächst einmal den Strahlengang in lichtbrechenden Glaskeilen etwas genauer zu untersuchen, und die wesentlichen Eigenschaften des Drehkeiles festzulegen.

Die verschiedenartigen Gläser haben bekanntlich einen verschiedenen Brechungsindex, welcher zwischen 1,5 und 2,0 schwankt. Ist $\alpha$ der Einfallswinkel und $\beta$ der Brechungswinkel beim Übergang eines Lichtstrahles von Luft in Glas, dann wird bekanntlich

$$n = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta} \tag{1}$$

der Brechungsindex des Glases.

Daraus folgt

$$\sin\alpha = n\sin\beta \leqq 1;$$

also

$$\sin\beta \leqq \frac{1}{n} = \sin\beta_0 . \tag{2}$$

Der durch Gl. 2) definierte Wert $\beta_0$ heißt der „Grenzwinkel", und ist ungefähr $41^0\,30'$ groß. Da nach 1) für

$$\alpha = 90^0, \qquad \sin\beta = \frac{1}{n} = \sin\beta_0$$

wird, so folgt der bekannte Satz:

Der Grenzwinkel $\beta_0$ ist der Brechungswinkel für den größtmöglichen Einfallswinkel $\alpha = 90^0$.

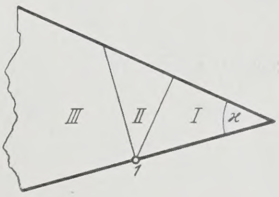


Abb. 1.

Und nun denken wir uns in Abb. 1 einen Hauptschnitt des lichtbrechenden Keiles mit dem brechenden Winkel $\varkappa$ herausgezeichnet. Zerlegt man den Keil in die drei Teilkörper I, II, III, dann stellt es sich heraus, daß der Ablenkungswinkel $\delta$ nach verschiedenen Formeln zu berechnen

[1] Referat in *dieser Zeitschr.* **48**. *S. 91—94. 1928.*

ist, je nachdem der „innere Strahl“ im Körper I, II oder III verläuft, wobei 1 den Einfallspunkt bedeutet.

Da sich aber alle ergebenden Formeln unter bestimmten Festsetzungen auf die Formeln des Teilkörpers II zurückführen lassen, so wollen wir in Abb. 2 lediglich den Strahlengang in diesem Teilkörper behandeln. $S_2$ und $S_3$ sind die Grenzstrahlen für diesen Teilkörper II und $S$ ist ein beliebiger Strahl, dessen „innerer Strahl“ im Teilkörper II verläuft.

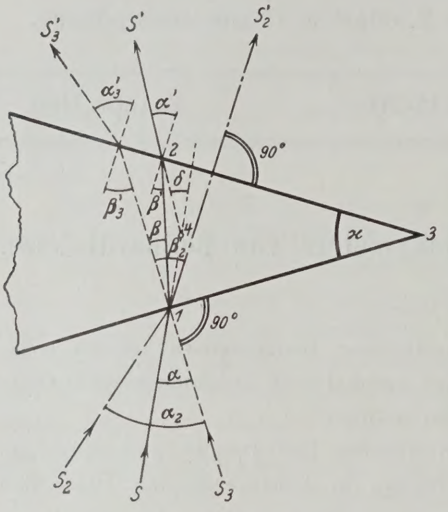


Abb. 2.

Aus $\Delta(123)$ folgt:

$$(90-\beta)+(90-\beta')+\varkappa=180^0;$$

also

$$\varkappa=\beta+\beta'. \qquad 3)$$

Aus $\Delta(124)$ folgt

$$\delta=(\alpha-\beta)+(\alpha'-\beta')=\alpha+\alpha'-\varkappa; \quad 4)$$

da

$$\beta\leqq\beta_0$$

und ebenso auch

$$\beta'\leqq\beta_0$$

ist, so folgt aus 3), daß

$$\underline{\varkappa\leqq 2\,\beta_0}$$

sein muß, wenn der Keil gebrochene Strahlen im Hauptschnitte durchlassen soll.

Für Grenzstrahl $S_2$ ist

$$\alpha_2'=0;$$

also

$$\beta_2'=0;$$

somit nach 3)

$$\beta_2=\varkappa \qquad \text{(nur möglich, wenn } \varkappa\leqq\beta_0 \text{ ist)}$$

$$\sin\alpha_2=n\sin\beta_2=n\sin\varkappa;$$

$$\alpha_2=\ldots.$$

Für Grenzstrahl $S_3$ ist

$$\alpha_3=0;$$

also

$$\beta_3=0;$$

somit nach 3)

$$\beta_3'=\varkappa \qquad \text{(nur möglich, wenn } \varkappa\leqq\beta_0 \text{ ist)}$$

$$\sin\alpha_3'=n\sin\beta_3'=n\sin\varkappa;$$

$$\alpha_3'=\ldots=\alpha_2.$$

Die in den Klammern eingefügte Bemerkung, daß $\varkappa\leqq\beta_0$ sein muß, sagt aus, daß die Grenzstrahlen $S_2$ und $S_3$ nur dann reell sind, wenn $\varkappa\leqq\beta_0$ ist. Wird aber $\varkappa>\beta_0$, dann gibt es neue Grenzstrahlen, welche im Inneren des Keilkörpers II verlaufen, und in dem Grenzfalle $\varkappa=2\,\beta_0$ in einem einzigen, symmetrisch verlaufenden Strahl zusammenfallen.

In ganz analoger Weise kann man auch den Strahlengang in den Teilkörpern I und III untersuchen, und findet dabei, daß in diesen Körpern nur dann „innere Strahlen“ von Hauptstrahlen verlaufen können, wenn $\varkappa < \beta_0$ ist. Werden diese Untersuchungen gemacht, dann lassen sich alle Ergebnisse in nachfolgendem Satze zusammenfassen:

Ist der brechende Keilwinkel $\varkappa < \beta_0$ (Grenzwinkel), dann wird in allen drei Keilteilen I, II, III Hauptstrahlenablenkung erzeugt. Ist dagegen $\beta_0 \leqq \varkappa \leqq 2\,\beta_0$, dann gibt es nur im Keilteile II Hauptstrahlenbrechung bzw. Ablenkung, in den Teilen I und III dagegen nicht. Ist endlich $\varkappa > 2\,\beta_0$, dann läßt der Keil überhaupt keine Hauptstrahlen durch. Faßt man alle Winkel als positive Größen auf, dann erhält man die Größe des Ablenkungswinkels $\delta$:

$$\begin{cases} \text{Im Raume I:} & \delta = \alpha - \alpha' - \varkappa, \\ \text{Im Raume II:} & \delta = \alpha + \alpha' - \varkappa, \\ \text{Im Raume III:} & \delta = \alpha' - \alpha - \varkappa, \end{cases} \qquad \text{wobei} \qquad \begin{cases} \beta - \beta' = \varkappa, \\ \beta + \beta' = \varkappa, \\ \beta' - \beta = \varkappa \end{cases} \qquad \text{ist.}$$

Dabei wird der Lichtstrahl stets um den Ablenkungswinkel $\delta$ aus seiner Einfallsrichtung von der brechenden Kante ($\varkappa$) weggedreht.

Nun kann man hinterher noch ganz einheitliche Formeln aufstellen wie folgt:

Setzt man fest, daß die Winkel $\beta$ und $\beta'$ $\begin{Bmatrix}\text{größer}\\ \text{kleiner}\end{Bmatrix}$ als Null sein sollen, je nachdem sie auf $\begin{Bmatrix}\text{derselben}\\ \text{der entgegengesetzten}\end{Bmatrix}$ Seite des Einfallslotes liegen, wie die brechende Kante des Keiles,

und daß die Winkel $\alpha$ und $\alpha'$ $\begin{Bmatrix}\text{größer}\\ \text{kleiner}\end{Bmatrix}$ als Null sein sollen, je nachdem sie auf $\begin{Bmatrix}\text{der entgegengesetzten}\\ \text{derselben}\end{Bmatrix}$ Seite des Einfallslotes liegen, wie die brechende Kante des Keiles, dann wird für Hauptstrahlen

$$\underline{\beta + \beta' = \varkappa} \qquad \text{und} \qquad \underline{\delta = \alpha + \alpha' - \varkappa.} \qquad 5)$$

Anders wird die Sache, wenn die Einfallsebene keine Hauptschnittebene ist, also zur brechenden Kante $\varkappa$ nicht normal steht, wenn also der einfallende Strahl kein Hauptstrahl ist (Abb. 3).

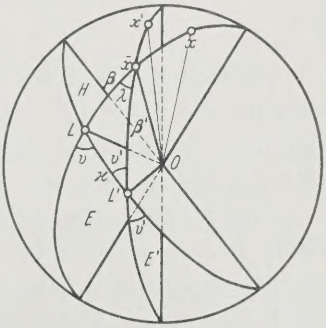


Abb. 3.

In diesem Falle ist

die Einfallsebene $E$ bestimmt durch Einfallsstrahl $x$ und Einfallslot $L$,

die Austrittsebene $E'$ bestimmt durch inneren Strahl $\bar{x}$ und Austrittslot $L'$.

Somit ist $\bar{x}$ die Schnittgerade von Einfallsebene $E$ und Austrittsebene $E'$ und man sieht, daß diese beiden Ebenen im allgemeinen nicht zusammenfallen, sondern mit der Hauptschnittebene $H$ zwei verschiedene Winkel $v$ und $v'$ einschließen, woraus folgt, daß Einfallstrahl $x$ und Austrittstrahl $x'$ zwei sich kreuzende Gerade sind, also keinen Schnittpunkt haben.

Sollen Einfallstrahl und Austrittstrahl sich schneiden, dann müssen die Ebenen $E$ und $E'$ zusammenfallen, also

$$\lambda = 0$$

sein. Nun ist aber allgemein:

$$\sin\lambda = \sin v' \frac{\sin\varkappa}{\sin\beta} = \sin v \cdot \frac{\sin\varkappa}{\sin\beta'}. \qquad 6)$$

Also für $\lambda = 0$

$$\sin\lambda = 0\,;$$

somit

$$\left.\begin{aligned} \sin v' &= 0 \quad \text{und} \quad \sin v = 0\,. \\ v' &= 0 \quad \text{und} \quad v = 0\,. \end{aligned}\right\} \qquad 7)$$

Mithin auch

Daher der Satz:

Fällt die Eintrittebene mit der Austrittebene zusammen, dann fallen beide Ebenen mit der Hauptschnittebene zusammen, und dann, aber auch nur dann, sind eintretender Lichtstrahl $x$ und austretender Lichtstrahl $x'$ zwei sich schneidende Gerade.

Nun beantworten wir aus Abb. 4 nachstehende Frage:

Es falle ein Lichtstrahl $x = x_0$, der feststehend bleibt, in einer Hauptschnittebene des Keiles $\varkappa$ ein, und nehme seinen normalen Verlauf: $(x - \bar{x}_0 - x_0')$. Nun lasse man den Keil um eine feste Rotationsachse $\zeta$, die zu der Hauptschnittebene der Anfangsstellung parallel liegt, rotieren, und frage: Wie groß ist der veränderliche Neigungswinkel $v$ zwischen der jeweiligen momentanen Einfallsebene $E$ und der zugeordneten Hauptschnittebene $H$ bei der Rotation des Keiles?

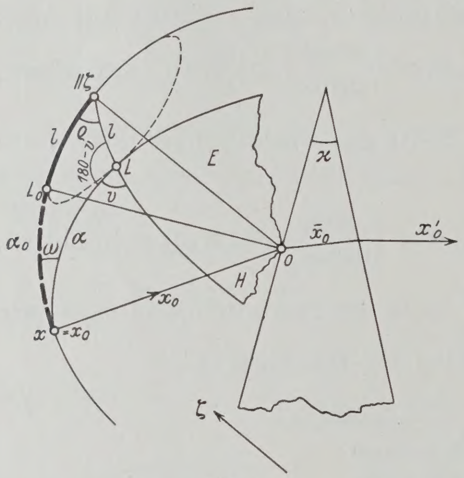



Abb. 4.

In Abb. 4 bedeutet die Zeichenebene die ursprüngliche Hauptebene, welche von der um 0 geschlagenen Einheitskugel in dem eingezeichneten Kreise geschnitten wird. — $\zeta$ sei die Rotationsachse, $\|\zeta$ ihr sphärisches Bild. $x = x_0$ das sphärische Bild des einfallenden festen Strahles und $L_0$ das sphärische Bild des Einfallslotes in der Anfangsstellung.

Rotiert der Keil um die Achse $\zeta$, so rotiert das sphärische Bild $L_0$ des Einfallslotes um die Achse $(\|\zeta)$ und beschreibt den punktierten Kreis auf der Einheitskugel. Hat man eine Rotation um den Drehwinkel $\varrho$ gemacht, dann hat sich das sphärische Bild des Einfallslotes von $L_0$ bis $L$ bewegt.

Da $(\|\zeta)$ eine Gerade der ursprünglichen Hauptschnittebene ist, und bei der Rotation in sich selbst ruhend bleibt, und die zweite Bestimmungsgerade der Hauptschnittebene, das Lot, von $L_0$ nach $L$ wandert, so ist es klar, daß die Ebene, welche durch $(\|\zeta)$ und $L$ hindurchgeht, die zum Drehwinkel $\varrho$ gehörige Hauptschnittebene $H$ sein muß.

Ebenso ist es einleuchtend, daß die durch $x = x_0$ und $L$ bestimmte Ebene die zugeordnete Einfallsebene $E$ ist.

Mithin ist $v$ der Neigungswinkel zwischen Einfallsebene $E$ und Hauptschnittebene $H$ nach Verdrehung des Keiles um den Winkel $\varrho$. Nun wird:

$$\sin\omega = \sin v \frac{\sin\iota}{\sin(\iota + \alpha_0)}\,;$$

und

$$\sin\omega\cos\alpha = \sin v\cos\varrho - \cos v\sin\varrho\cos\iota\,,$$

also

$$\sin v\cdot\frac{\sin\iota}{\sin(\iota+\alpha_0)}\cos\alpha = \sin v\cos\varrho - \cos v\sin\varrho\cos\iota\,,$$

$$\operatorname{tg} v\cdot\frac{\sin\iota\cos\alpha}{\sin(\iota+\alpha_0)} = \operatorname{tg} v\cos\varrho - \sin\varrho\cos\iota\,,$$

$$\sin\varrho\cos\iota = \operatorname{tg} v\cdot\left(\cos\varrho - \frac{\sin\iota\cos\alpha}{\sin(\iota+\alpha_0)}\right). \qquad 8)$$

Nun ist noch nach Abb. 4

$$\cos\alpha = \cos(\iota+\alpha_0)\cos\iota + \sin(\iota+\alpha_0)\sin\iota\cos\varrho\,,$$

also

$$\frac{\sin\iota\cos\alpha}{\sin(\iota+\alpha_0)} = \operatorname{cotg}(\iota+\alpha_0)\sin\iota\cos\iota + \sin^2\iota\cos\varrho\,.$$

Mithin wird

$$\left(\cos\varrho - \frac{\sin\iota\cos\alpha}{\sin(\iota+\alpha_0)}\right) = \cos\varrho\cdot(1-\sin^2\iota) - \operatorname{cotg}(\iota+\alpha_0)\sin\iota\cos\iota$$
$$= \cos\varrho\cdot\cos^2\iota - \operatorname{cotg}(\iota+\alpha_0)\sin\iota\cos\iota\,; \qquad 9)$$

9) in 8) eingesetzt gibt:

$$\sin\varrho = \operatorname{tg} v\cdot\{\cos\varrho\cos\iota - \operatorname{cotg}(\iota+\alpha_0)\sin\iota\}$$

und daraus folgt:

$$\underline{\operatorname{tg} v = \frac{\sin\varrho}{\cos\iota\cos\varrho - \sin\iota\cdot\operatorname{cotg}(\iota+\alpha_0)}}\,. \qquad 10)$$

Nach dieser Formel muß also im allgemeinen jede Verdrehung des Keiles um einen beliebigen Verdrehungswinkel $\varrho$, die Einfallsebene um einen Winkel $v$ aus der Hauptschnittebene herausdrehen, was nach dem früheren Satze zur Folge hat, daß eintretender und austretender Lichtstrahl zwei sich kreuzende Gerade bilden, also keinen Schnittpunkt haben.

Soll

$$\underline{v = 0}$$

sein, für alle Werte von $\varrho$, dann muß nach 10)

$$\operatorname{cotg}(\iota+\alpha_0) = \infty\,,$$

also

$$\iota + \alpha_0 = 0\,;$$

oder

$$\underline{\iota = -\alpha_0}$$

sein. Dann fällt aber nach Abb. 4 die Achse ($\|\zeta$) mit $x = x_0$ zusammen. Dies gibt den Satz:

*Soll der austretende Strahl $x_0'$ bei Rotation des Keiles um eine Achse $\zeta$ den eintretenden Strahl $x$ beständig schneiden, oder mit anderen Worten, soll der einfallende und austretende Strahl beständig in einer Hauptschnittebene verlaufen, dann muß die Rotationsachse $\zeta$ zum einfallenden festen Strahl $x$ parallel sein.*

Da dann eintretender und austretender Strahl Hauptstrahlen sind, so gelten für diese Strahlen die Gl. 5); und da dann $\alpha = \alpha_0$ wird, also konstant bleibt, so ist auch

$$\beta = \arcsin\left(\frac{1}{n}\sin\alpha\right)$$

konstant, und somit nach 5) auch

$$\beta' = \varkappa - \beta$$

konstant, also auch

$$\alpha' = \arcsin (n \sin \beta)$$

konstant, und deshalb auch

$$\delta = \alpha + \alpha' - \varkappa \qquad 11)$$

konstant.

Daher der Satz:

Rotiert ein Keil um eine Achse $\zeta$, die zu einem einfallenden festen Strahle $x$ parallel ist, dann bleibt der Ablenkungswinkel $\delta$ für den jeweiligen austretenden Strahl konstant; ferner wird der eintretende Strahl vom austretenden Strahle jederzeit geschnitten.

Nun könnte man versucht sein zu glauben, daß der geometrische Ort des austretenden Strahles bei Rotation des Keiles eine Rotationskegelfläche sein müsse, deren Achse der eintretende Strahl $x$ ist.

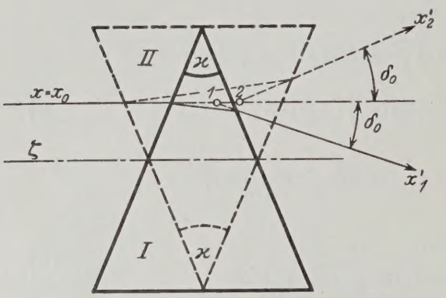


Abb. 5.

Aus Abb. 5 aber ist ohne jede weitere Rechnung ersichtlich, daß diese Vermutung im allgemeinen nicht zutrifft, und zwar wegen der variablen Keildicke im jeweiligen Treffpunkte des festen Strahles.

In genannnter Abbildung sind zwei, um 180° verdrehte Stellungen des Keiles samt Strahlenverlauf eingezeichnet. Die erste Lage (I) ist durch volle Linien, die zweite Lage (II) durch gestrichelte Linien gekennzeichnet. Der Treffpunkt von $x$ mit $x_1'$ ist der Punkt 1, der Treffpunkt von $x$ mit $x_2'$ ist der Punkt 2. Die Schnittpunkte des austretenden Strahles $x'$ mit dem eintretenden Strahle $x$ liegen zwischen diesen beiden Grenzpunkten. Es ist auch ohne Schwierigkeiten einzusehen, daß die Grenzpunkte 1 und 2 nur dann in einen einzigen Punkt zusammenrücken, wenn die Achse $\zeta$ mit dem einfallenden Strahl $x$ zusammenfällt.

Daher der Satz:

Bei Rotation eines Keiles um eine Drehachse $\zeta$ wird der durch einen festen, einfallenden Hauptstrahl $x$ erzeugte, abgelenkte Strahl $x'$ nur dann einen Rotationskegel mit der Achse $x$ beschreiben, wenn die Rotationsachse $\zeta$ mit dem einfallenden Strahl $x$ zusammenfällt.

**Die sogenannten Drehkeile.** Ein Drehkeil ist ein Keilpaar, das aus zwei hintereinandergeschalteten gleichwertigen Keilen besteht, die miteinander durch einen ganz bestimmten mechanischen Zusammenhang verknüpft sind (Abb. 6). Fällt ein fester Strahl $x$ auf den ersten Keil $\varkappa_1$, der um eine mit $x$ zusammenfallende oder wenigstens parallele Rotationsachse $\zeta_1$ drehbar ist,

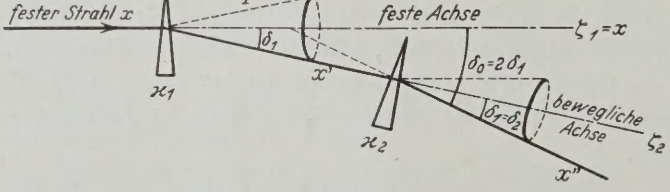


Abb. 6.

dann beschreibt bei Drehung des Keiles um diese Achse der austretende Strahl $x'$ einen Rotationskegel um $x$, mit dem Öffnungswinkel $\delta_1$.

Der zweite Keil $\varkappa_2$ muß bei richtiger Konstruktion so montiert sein, daß der austretende Strahl $x'$ ihm gegenüber relativ fest bleibt, was nur dann möglich ist, wenn der zweite Keil $\varkappa_2$ die Rotation des ersten Keiles $\varkappa_1$ um die $\zeta_1$-Achse mitmacht.

Außerdem aber ist der zweite Keil $\varkappa_2$ mit einer eigenen Rotationsachse $\zeta_2$ ausgestattet, die in jedem Augenblicke mit dem aus dem ersten Keile $\varkappa_1$ austretenden Lichtstrahle $x'$ zusammenfällt, also bei Rotation des Keiles $\varkappa_1$ um $\zeta_1$, mit $x'$ zugleich den Kegel I beschreibt.

Dreht man den Keil $\varkappa_2$ bei festgehaltenem Keil $\varkappa_1$, also bei festgehaltenem $x'$ bzw. $\zeta_2$ um diese Achse $\zeta_2$, dann beschreibt der austretende Lichtstrahl $x''$ einen Rotationskegel um $\zeta_2$ bzw. $x'$ mit dem Öffnungswinkel $\delta_2 = \delta_1$.

Ein Keilpaar mit dem hier beschriebenen mechanischen Zusammenhange heißt ein Drehkeil.

Nun bezeichnen wir den Gesamtablenkungswinkel in der Anfangsstellung bzw. „Normalstellung", die in Abb. 6 dargestellt ist und bei Parallelstellung der brechenden Kanten eintritt, mit $\delta_0$; dann wird

$$\delta_0 = \delta_1 + \delta_2 = 2\,\delta_1; \tag{12}$$

und nun beantworten wir nachstehende Frage:

Welche Ebene wird durch den eintretenden Strahl $x$ und den austretenden Strahl $x''$ bestimmt, wenn der Keil $\varkappa_1$ um die Achse $\zeta_1$ um einen beliebigen Winkel $\varrho$ verdreht wird, und hinterher der Keil $\varkappa_2$ um die Achse $\zeta_2$ in entgegengesetztem Sinne um den Winkel $2\,\varrho$ rotiert; ferner, wie groß ist der zugeordnete Gesamtablenkungswinkel $\delta = ?$

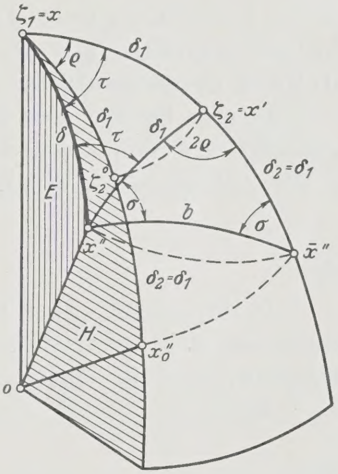


Abb. 7.

In Abb. 7 sei $\zeta_1 = x$ das sphärische Bild der festen Rotationsachse $\zeta_1$ (zusammenfallend mit $x$) und die breit schraffierte Ebene $H$ sei der Hauptschnitt in der Anfangsstellung bzw. Normalstellung. Ferner sei $\zeta_2^0$ die Anfangslage der beweglichen Rotationsachse $\zeta_2$ und $x_0''$ die Anfangslage des austretenden, um den Winkel $\delta_0 = 2\,\delta_1$ abgelenkten Lichtstrahles.

Werden nun zunächst einmal beide Keile gemeinsam um die Achse $\zeta_1$ um den Winkel $\varrho$ verdreht, so kommt $\zeta_2^0$ nach $\zeta_2$ und $x_0''$ nach $\bar{x}''$, wobei

$$\operatorname{arc} \widehat{\zeta_1 \bar{x}''} = 2\,\delta_1 = \delta_0\,.$$

Dreht man hinterher den Keil $\varkappa_2$ um die Achse $\zeta_2$ in entgegengesetztem Drehungssinn um den Winkel $(2\,\varrho)$ zurück, dann kommt der austretende Lichtstrahl aus der Stellung $\bar{x}''$ nach $x''$, und es ist nach dieser Drehung die eng schraffierte Ebene $E$ die gesuchte Ablenkungsebene, welche durch $x$ und $x''$ bestimmt wird, und $\delta$ der gesuchte Ablenkungswinkel.

Nun ist aus $\Delta\,(\zeta_1\, x''\, \zeta_2)$

$$\sin\delta = \sin\delta_1\,\frac{\sin\,(2\,\varrho)}{\sin\tau}\,;$$

also

$$\sin\delta\,\sin\tau = \sin\delta_1\,\sin\,(2\,\varrho) = 2\,\sin\delta_1\,\sin\varrho\,\cos\varrho\,. \tag{13}$$

Ferner wird

$$\sin\delta \cos\tau = \sin\delta_1 \cos\delta_1 - \cos\delta_1 \sin\delta_1 \cos(180 - 2\varrho) = \sin\delta_1 \cos\delta_1 \{1 + \cos(2\varrho)\},$$

also

$$\sin\delta \cos\tau = 2 \sin\delta_1 \cos\delta_1 \cdot \cos^2\varrho \,. \qquad 14)$$

13) und 14) gibt

$$\underline{\operatorname{tg}\tau = \frac{\operatorname{tg}\varrho}{\cos\delta_1}} \,. \qquad 15)$$

Aus dieser Gleichung folgt, daß im allgemeinen $\operatorname{tg}\tau > \operatorname{tg}\varrho$ ist, daß also auch $\tau > \varrho$ sein muß.

Mithin kann streng genommen nach der Verdrehung der Keile die Ablenkungsebene nicht genau mit der ursprünglichen Hauptebene zusammenfallen.

Ist aber $\delta_1$ sehr klein, etwa $\delta_1 \leqq 1^0$, dann wird

$$\cos\delta_1 \geqq 0{,}999\,848,$$

also

$$\cos\delta_1 \doteq 1;$$

und dann wird nach 15)

$$\operatorname{tg}\tau \doteq \operatorname{tg}\varrho;$$

also

$$\underline{\tau \doteq \varrho} \,. \qquad 16)$$

Ist also $\delta_1 < 1^0$, dann kann man für praktische Zwecke hinreichend genau annehmen, daß nach der durchgeführten Verdrehung der Keile, die Ablenkungsebene mit der ursprünglichen Hauptschnittebene der Normalstellung zusammenfällt.

In aller Strenge aber fällt die Ablenkungsebene nach der Verdrehung mit der ursprünglichen Hauptschnittebene nur dann zusammen, wenn entweder $\varrho = 0$ ist, also in der Anfangsstellung selbst, oder wenn $\varrho = 90^0$ ist; denn dann ist nach 15)

$$\operatorname{tg}\varrho = \operatorname{tg}\tau = \infty;$$

also

$$\varrho = \tau = 90^0.$$

In diesem Falle aber fällt nach Abb. 7, weil dann $(2\varrho) = 180^0$ ist, $x''$ mit $x$ zusammen, d. h. es tritt gar keine Ablenkung ein und der Drehkeil wirkt als planparallele Platte.

Aus

$$\Delta\,(x''\zeta_2\bar{x}'')$$

folgt

$$\sin b = \sin\delta_1 \frac{\sin(2\varrho)}{\sin\sigma};$$

also

$$\sin b \sin\sigma = \sin\delta_1 \sin(2\varrho) = 2\sin\delta_1 \sin\varrho \cos\varrho; \qquad 17)$$

ferner ist

$$\sin b \cos\sigma = \sin\delta_1 \cos\delta_1 - \cos\delta_1 \sin\delta_1 \cos(2\varrho) = \sin\delta_1 \cos\delta_1 (1 - \cos 2\varrho)$$
$$= 2\sin\delta_1 \cos\delta_1 \sin^2\varrho; \qquad 18)$$

17) und 18) gibt

$$\underline{\operatorname{tg}\sigma = \frac{\operatorname{cotg}\varrho}{\cos\delta_1}} \,. \qquad 19)$$

Aus

$$\Delta\,(x''\zeta_1\bar{x}'')$$

wird

$$\frac{\sin(\delta_1 + \delta_2)}{\sin\delta} = \frac{\sin(\sigma + \tau)}{\sin\sigma} = \frac{\sin\sigma\cos\tau + \cos\sigma\sin\tau}{\sin\sigma} = \cos\tau + \operatorname{cotg}\sigma \sin\tau,$$

oder, da $\delta_1 + \delta_2 = 2\,\delta_1 = \delta_0$ ist,

$$\frac{\sin\delta_0}{\sin\delta} = \cos\tau\cdot(1+\operatorname{cotg}\sigma\cdot\operatorname{tg}\tau)\;\overset{19)}{\underset{15)}{=}}\;\cos\tau\left(1+\frac{\operatorname{tg}\varrho}{\operatorname{cotg}\varrho}\right) = \cos\tau\,(1+\operatorname{tg}^2\varrho).$$

Daraus:

$$\underline{\sin\delta} = \sin\delta_0\cdot\frac{\cos^2\varrho}{\cos\tau} = \sin\delta_0\cos^2\varrho\,\sqrt{1+\operatorname{tg}^2\tau}\ \overset{15)}{=}\ \underline{\sin\delta_0\,\frac{\cos^2\varrho}{\cos\delta_1}\cdot\sqrt{\cos^2\delta_1+\operatorname{tg}^2\varrho}}. \qquad 20)$$

Nun ist aber

$$\cos\delta_1 \doteq 1,$$

also

$$\sin\delta \doteq \sin\delta_0\cdot\cos^2\varrho\,\sqrt{1+\operatorname{tg}^2\varrho} = \sin\delta_0\,\cos\varrho$$

oder

$$\underline{\delta \doteq \delta_0\cdot\cos\varrho}; \qquad 21)$$

d. h.: der Ablenkungswinkel $\delta$ eines Drehkeiles in allgemeiner, dem Verdrehungswinkel $\varrho$ entsprechenden Lage, ist gleich dem Ablenkungswinkel $\delta_0$ in der Normalstellung, multipliziert mit dem Kosinus des Verdrehungswinkels $\varrho$.

Es handelt sich nun noch darum, einige Andeutungen über die Konstruktion eines solchen Drehkeiles zu machen. Selbstverständlich können verschiedenartige mecha-

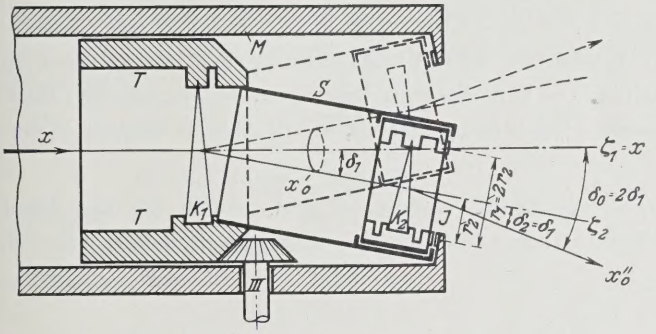



Abb. 8 a.

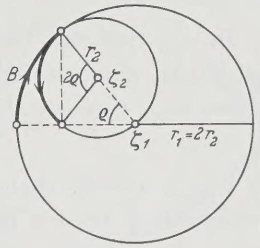



Abb. 8 b.

nische Vorrichtungen die gewünschte Bewegung der Keile hervorbringen, und es können vielleicht auch näherungsweise Konstruktionen für kleinere Verdrehungswinkel $\varrho$ genügen.

Jedenfalls bringe ich in Abb. 8 eine von mir entworfene Drehkeilkonstruktion, die bei genauer Ausführung theoretisch richtig, also für beliebige Drehwinkel $\varrho$ einwandfrei arbeitet.

Ob diese Konstruktion der von Zeiss durchgeführten mehr oder weniger ähnlich ist, kann ich leider nicht feststellen, weil in den mir bekannten Schriften über das Zeiss-Boßhardsche Instrument gerade über diesen wesentlichsten Bestandteil desselben mit einigen Worten hinweggegangen wird.

In Abb. 8a ist $M$ der feste Mantel des Fernrohres. In diesem sitzt genau passend der zylindrische Träger $T$ der beiden um die Achse $\zeta_1 = x$ drehbaren Keile. Dreht sich das Kegelrad III, dann rotiert auch der Träger $T$ und mit ihm die Keile $K_1$ und $K_2$ um die feste Achse $\zeta_1$.

Nun haben wir in der Theorie nach Drehung des ganzen Systems um den Winkel $\varrho$, den Keil $\varkappa_2$ für sich allein um den Winkel $(2\,\varrho)$ um die jeweilige Achse $\zeta_2$

zurückverdreht. Der Apparat aber soll diese Rückdrehung automatisch und gleichzeitig mit der Hindrehung des ganzen Systems machen.

Zu diesem Zwecke wurde der Keil $K_2$ in dem zylindrischen Rohrstutzen $S$ drehbar um $\zeta_1$ montiert, und an der Stirnseite der Keilfassung ein konisches, geriffeltes Rad $J$ mit dem Radius $r_2$ eingesetzt. Dieses Rad greift in ein zweites konisches, geriffeltes Rad vom Radius $r_1 = 2r_2$ ein, welches auf der festen Mantelfläche $M$ des Fernrohres sitzt.

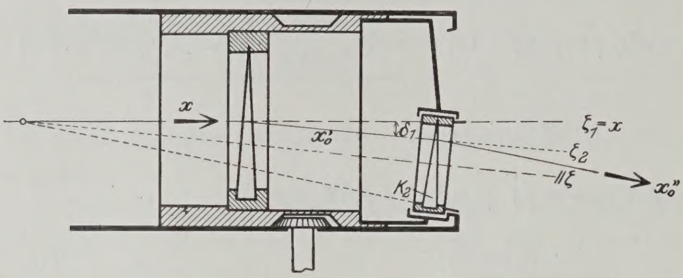


Abb. 8c.

Aus der kleinen, als Abb. 8b beigegebenen Skizze, welche die Ansicht dieser ineinandergreifenden Räder zeigt, ist die Wirkung derselben leicht zu erkennen. Der abgewickelte Bogen $B$ muß auf beiden Rädern gleichgroß sein.

Somit ist

$$B = r_1 \cdot \hat{\varrho} = r_2 \cdot \widehat{\omega} = | \text{da } r_1 = 2r_2 | = 2r_2 \cdot \hat{\varrho}.$$

Daraus folgt

$$\underline{\omega = 2\varrho.} \qquad 22)$$

Infolge des sehr kleinen Winkels $\delta_1$ stößt die Ausführung der in 8a dargestellten Konstruktion auf Schwierigkeiten. — Um diese zu beseitigen, kann man den Keil $K_2$ um eine, zu $\zeta_2$ parallele Drehachse $(\parallel \xi_2)$ rotieren lassen, wie in Abb. 8c dargestellt ist. —

---

Und nun erst, nachdem wir genügend vorbereitet sind, wollen wir uns der Beschreibung und Theorie des Zeiss-Boßhardschen Doppelbild-Tachymeters zuwenden.

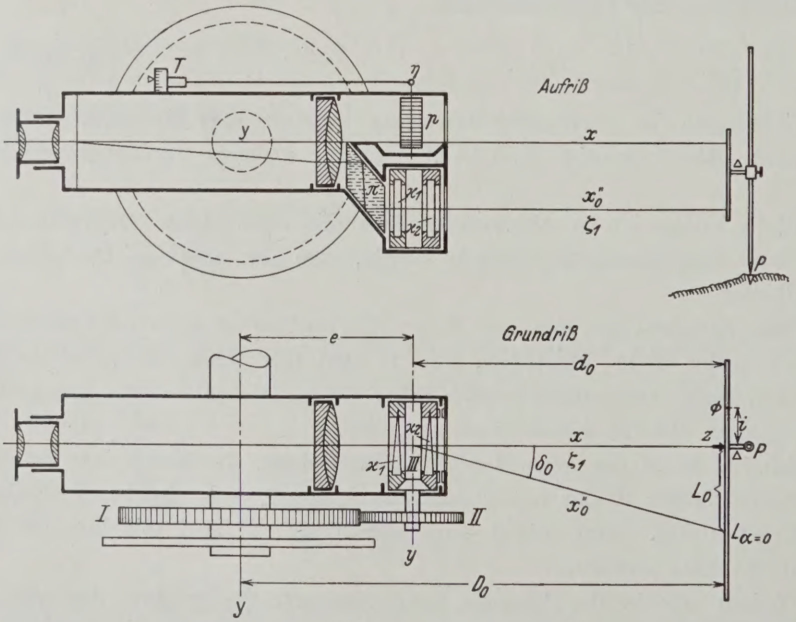


Abb. 9.

In Abb. 9 ist dieses Doppelbild-Tachymeter im Grundriß und Aufriß dargestellt. Vor der oberen Hälfte des Objektives ist eine kleine, um die Achse $\eta$ drehbare, planparallele Platte $p$ eingeschaltet; dieselbe bewirkt eine seitliche Parallelverschiebung der direkten Zielachse $x$, deren Zweck erst viel später erörtert werden soll. Nimmt man diese Platte $p$ aus dem Rohrstutzen, in dem sie untergebracht ist, heraus, dann ist es möglich, mit der direkten Zielachse $x$ einen Feldpunkt $P$, oder besser gesagt, eine in $P$ aufgestellte horizontale Latte anzuzielen.

Die untere Hälfte des Objektives ist verdeckt und die Zielachse wird in diesem Teile mittels eines Prismas $\pi$ und eines vorgeschalteten Drehkeiles $(\varkappa_1, \varkappa_2)$ in der „Normalstellung", die bei horizontaler Visur eintritt, aus der Richtung $x$ in die Richtung $x_0''$ abgelenkt. Hierdurch entsteht der distanzmessende Winkel $\delta_0$, der im Grundriß eingezeichnet ist und in einer bestimmten Horizontaldistanz $D_0$ auf einer horizontalen Latte einen ganz bestimmten Lattenabschnitt $L_0$ erzeugt, welcher durch die direkte Zielachse $x$ und die abgelenkte Zielachse $x_0''$ begrenzt wird.

Dabei ist angenommen, daß die direkte Visur normal zur Latte steht, was mit Hilfe eines kleinen, an der Latte angebrachten Diopters oder Kollimators leicht erreicht werden kann.

Nach Abb. 9 ist nun

$$D_0 = d_0 + (e + \varDelta),$$

wobei $\left\{ \begin{array}{l} e = \text{Abstand des Winkelscheitels von der Instrumentenmitte,} \\ \varDelta = \text{Abstand der horizontalen Latte vom Zielpunkt } P. \end{array} \right.$

Nun ist noch

$$d_0 = L_0 \cdot \operatorname{cotg} \delta_0;$$

also

$$D_0 = L_0 \operatorname{cotg} \delta_0 + (e + \varDelta).$$

Macht man

$$\operatorname{cotg} \delta_0 = 100,$$

also

$$\delta_0 = 0^0\, 34'\, 24'',$$

dann ist

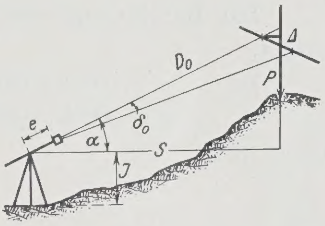



Abb. 10.

$$\underline{D_0 = 100\, L_0 + (e + \varDelta).} \qquad 23)$$

Das ist aber die gewöhnliche Distanzgleichung für horizontale Visur, wobei $(e + \varDelta)$ eine kleine Additionskonstante vorstellt.

Würde man bei konstant gehaltenem Ablenkungswinkel $\delta_0$ und Lattenabstand $D_0$ eine Visur unter dem Winkel $\alpha$ auf einen Höhenfixpunkt $P$ machen, dann wäre nach Abb. 10:

die schiefe Distanz: $D_0 \doteq 100\, L_0 + \left(e + \dfrac{\varDelta}{\cos \alpha}\right),$

also die Ebenweite: $S \doteq D_0 \cdot \cos \alpha = 100\, L_0 \cos \alpha + e \cos \alpha + \varDelta$

$$= 100\, L_0 \cos \alpha + (e + \varDelta) - 2\, e \sin^2 \frac{\alpha}{2};$$

oder auch genau genug: $\underline{S \doteq 100\, L_0 \cos \alpha + (e + \varDelta).}$ 24)

Will man aber ganz genau sein, dann steht auf der Mantelfläche des Zahnradgetriebes eine eigene Reduktionsskala, auf welcher für jeden Neigungswinkel $\alpha$ das zugeordnete Korrektionsglied $2\, e \sin^2 \dfrac{\alpha}{2}$ abgelesen werden kann. Dieses ist immer von dem rein tachymetrisch sich ergebenden Resultate abzuziehen.

Mithin ist es auch in aller Strenge statthaft, die Gleichung 24) für die tachymetrische Auswertung zu benutzen.

Der geniale Gedanke Boßhardts[1] war nun, die schiefe Distanz $D_0$ mit Hilfe eines Drehkeiles automatisch auf die Ebenweite $S$ zu reduzieren.

Der vor der unteren Objektivhälfte eingebaute Drehkeil wird nach Abb. 9 durch eine Zahnradübersetzung in Bewegung gesetzt. Und zwar sitzt das große Zahnrad I nur mit leichter Reibung auf der Kippachse $Y$ des Theodoliten auf und ist in fester Verbindung mit dem Nonienträger bzw. der Versicherungslibelle des Vertikalkreises, die am Nonienträger montiert ist.

Das kleinere Zahnrad II, dessen Drehachse $y$ in einem Lager ruht, das mit dem Fernrohre in starrer Verbindung ist, nimmt an den Drehungen des Fernrohres um die Kippachse teil und rollt beim Kippen desselben auf der Peripherie des großen Zahnrades I.

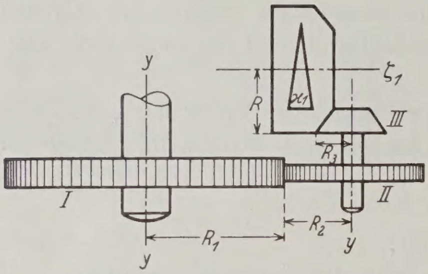


Abb. 11.

Schließlich ist am inneren Achsenende des Zahnrades II ein Kegelrad III angebracht, welches durch seine Drehung den Keil $\varkappa_1$ in Drehung um die Achse $\zeta_1$ versetzt.

Die Übersetzungen der Zahnräder sind so berechnet, daß der Drehwinkel $\varrho$ des Keiles $\varkappa_1$ genau gleich ist dem jeweiligen Neigungswinkel $\alpha$ der direkten Zielachse $x$.

Das Berechnungsschema für diese Übersetzungen ist in Abb. 11 ersichtlich gemacht.

Ist $\alpha$ = Drehwinkel des Rades I = Drehwinkel der Fassung des Keiles $\varkappa_1$,
$\beta$ = Drehwinkel des Rades II = Drehwinkel des Rades III,

dann wird

$$R_1 \cdot \widehat{\alpha} = R_2 \cdot \widehat{\beta},$$

also

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\widehat{\beta}}{\widehat{\alpha}};$$

ferner ist

$$R_3 \cdot \widehat{\beta} = R \cdot \widehat{\alpha},$$

also findet man

$$R = R_3 \cdot \frac{\widehat{\beta}}{\widehat{\alpha}} = R_3 \cdot \frac{R_1}{R_2}. \tag{25}$$

Genügen die Radien der Zahnräder I, II, III der Gleichung 25), dann entspricht einer Kippung des Fernrohres um den Winkel $\alpha$ eine Verdrehung des Keiles $\varkappa_1$ um den Winkel $\varrho = \alpha$ bzw. des Keiles $\varkappa_2$ um den Winkel $2\varrho = 2\alpha$ in entgegengesetztem Sinne. Diese Drehung aber transformiert im Drehkeile den ursprünglichen, der Normalstellung entsprechenden Ablenkungswinkel $\delta_0$ in einen neuen Ablenkungswinkel

$$\delta = \delta_0 \cdot \cos\varrho = \delta_0 \cdot \cos\alpha \quad \text{(nach Gl. 21)}. \tag{26}$$

[1] Der Grundgedanke, bei einem Doppelbildtachymeter durch Drehung des Bestandteiles, der den distanzmessenden Winkel erzeugt, die geneigte Entfernung auf die Wagrechte (und auf die Lotrechte) umzurechnen, erscheint zum ersten Male bei dem von Prof. Dr. Aubell entworfenen „Reduzierenden Doppelbildtachymeter" *(Österr. Zeitschr. f. Vermw. 1910)* ausgesprochen und durchgeführt. (Referat in *dieser Zeitschr.* ***31.*** *S. 288. 1911.*)

War also bei horizontaler Visur der Lattenabschnitt für die Distanz $D_0$ bzw. $d_0$ gleich

$$L_0 = d_0 \operatorname{tg} \delta_0,$$

dann wird er für die Visur unter dem Winkel $\alpha$ für dieselbe, jetzt schiefe Distanz $d_0$ gleich

$$L = d_0 \operatorname{tg} \delta \underset{26)}{\doteq} d_0 \operatorname{tg} \delta_0 \cdot \cos\alpha = L_0 \cos\alpha. \qquad 27)$$

27) in 24) eingesetzt gibt die Ebenweite

$$S \doteq 100\,L + (e + \Delta). \qquad 28)$$

Damit aber ist die automatische Reduktion der schiefen Distanz $D_0$ auf die Ebenweite $S$ vollzogen und der prinzipielle Gedanke, der dem Instrument zugrunde liegt, hinreichend erläutert.

Es erübrigt noch, auf einige kleine Einzelheiten an der Latte hinzuweisen, welche auch noch die Additionskonstante $(e + \Delta)$ in Formel 28) zum Verschwinden bringen, d. h. einen neuen Lattenabschnitt erzeugen, den wir mit $L_\alpha$ bezeichnen, und für den nachstehende Gleichung gelten soll:

$$S = 100\,L_\alpha. \qquad 29)$$

Aus 28) und 29) findet man die Bestimmungsgleichung für den neuen Lattenabschnitt $L_\alpha$:

$$S = 100\,L + (e + \Delta) = 100\,L_\alpha,$$

daraus

$$L_\alpha = L + \frac{e + \Delta}{100} = L + J,$$

wobei

$$J = \frac{e + \Delta}{100}. \qquad 30)$$

Bringt man nun an der Latte einen Zeiger $z$ an, der gegen den Latten-Nullpunkt um die Strecke $J = \frac{e + \Delta}{100}$ im Sinne der Bezifferung vorgerückt ist (Abb. 12), und wird dann nicht der Latten-Nullpunkt, sondern der Zeiger $z$ mit der direkten Zielachse $x$ anvisiert, dann liefert, durch das Fernrohr betrachtet, das Zeigerbild am Lattenbilde die Ablesung

$$L_\alpha = L + J,$$

und es wird

$$S = 100\,L_\alpha. \qquad 31)$$

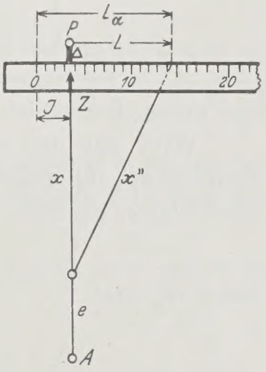


Abb. 12.

Damit wäre auch die Fortschaffung der Additionskonstanten prinzipiell durchgeführt.

Nun hat aber Boßhardt noch eine Verfeinerung des Meßvorganges angestrebt, um die Genauigkeit der Beobachtungsresultate zu erhöhen, und deshalb nachstehende zwei Einrichtungen getroffen:

1. Der Zeiger $z$ wird durch den Nullpunkt eines Noniusses mit 10 Teilintervallen ersetzt.

Da ein kleinstes Teilintervall auf der Lattenteilung, also am Hauptmaßstabe, 1 cm ist, so wird die

Nonienangabe $a = \frac{1\,\text{cm}}{10} = 1\,\text{mm}$ der Lattenteilung (also $= 1\,\text{dm}$ der Distanz). 32)

Nun wird aber für den Beobachter am Okulare in der Regel keine genaue Koinzidenz zwischen einem Nonienteilstrich und einem Hauptmaßstabteilstrich eintreten, weil dies nur dann der Fall ist, wenn die Distanz genau auf 1 dm ausgeht. Man müßte also im allgemeinen Falle die Koinzidenzstelle zwischen zwei Nonienteilstrichen einschätzen, d. h. im allgemeinen Falle müßten die Zentimeter der Distanz geschätzt werden.

Um diese Schätzung in eine Messung umzuwandeln, wurde

2. das Instrument mit der planparallelen Platte $p$ ausgestattet, die vor der oberen Objektivhälfte montiert ist und es möglich macht, die Zehntel der Nonienangabe zu messen und die Hundertstel zu schätzen.

Wird nämlich die Platte $p$ (Abb. 9) mit Hilfe des angedeuteten Gestänges durch Betätigung der Meßtrommel $T$ um die $\eta$-Achse verdreht, dann bewirkt dies eine seitliche Verschiebung der $x$-Achse, also durch das Okular gesehen, eine Verschiebung des Nonienbildes längs des Lattenbildes.

Die Trommel ist mit einer Teilung versehen, die empirisch so bestimmt ist, daß 10 Teile der Trommelteilung $= 1\,\text{mm}$ Zielachsenverschiebung $=$ Nonienangabe $a$. 33)

Dabei ist für die Normalstellung, also für den Nullpunkt der Trommel, die Platte $p$ nicht normal zur direkten Zielachse $x$, sondern gegen diese Achse gerade so geneigt, daß sie eine seitliche Verschiebung um genau 1 mm in Lattenabschnitt vergrößerndem Sinne erfährt.

Daher bekommt man bei eingeschalteter Platte $p$ und Trommeleinstellung (0), den Lattenabschnitt genau um 1 mm größer, als früher in der Theorie angenommen wurde. Um daher wieder auf den theoretisch richtigen Lattenabschnitt zu kommen, muß man die Zeigerverschiebung $J$ auf der Latte um diesen Millimeter verkleinern.

Die tatsächliche richtige Zeigerverschiebung ist daher:

$$i = J - 1\,\text{mm} = \frac{e + \Delta}{100} - 1\,\text{mm} = \begin{pmatrix} \text{da } e = 88\,\text{mm} \\ \Delta = 36\,\text{mm} \end{pmatrix} = 0{,}24\,\text{mm}. \qquad 34)$$

Um diesen Betrag ist der Noniennullpunkt gegen den Lattennullpunkt vorgeschoben.

Wird nun bei eingeschalteter Platte mit der verschobenen Zielachse ($x$) der Noniennullpunkt angezielt, dann erhält man genau dieselbe Lattenablesung wie früher ohne Platte, nämlich die Lattenablesung

$$L_\alpha = L + i.$$

Dabei ist jetzt

$$\left\{ \begin{array}{llll} L & \text{um } 1\,\text{mm} & \text{größer} & \text{wie ohne Platte} \\ i & \text{„ } 1 \text{ „} & \text{kleiner} & \text{„ „ „} \end{array} \right\} \qquad 35)$$

und es wird wieder

$$S = 100\, L_\alpha. \qquad 36)$$

Nach dieser für das volle Verständnis des Instrumentes notwendigen Abschweifung kehren wir wieder zur Meßtrommel $T$ zurück, mit welcher die Nonienablesung verschärft werden soll. — Der Vorgang ist sehr einfach:

Man stellt vor jeder Lattenablesung die Meßtrommel auf 0, wodurch der theoretisch richtige Lattenabschnitt $L$ bzw. die Lattenablesung $L_\alpha$ zustande kommt.

Hiernach sucht man am Nonius jene Teilstriche $K_1$ und $K_2 = K_1 + 1$ auf, zwischen denen die richtige Koinzidenzstelle liegt; dann dreht man mit Hilfe der Trommel das Nonienbild soweit zurück, bis der Nonienteilstrich $K_1$ mit dem unmittelbar vorhergehenden Lattenteilstrich genau koinzidiert und notiert die zugeordnete Trommelablesung $r_1$.

Ist nun $\lambda$ = Ablesung am Lattenbilde unmittelbar vor dem Noniennullpunkt (in Zentimetern) und $a = 1$ mm = Nonienangabe des Lattennoniusses, dann wird die gesuchte Lattenablesung:

$$L_\alpha = \lambda\,\text{cm} + K_1 \cdot a + r_1 \cdot \frac{a}{10} = \lambda_{\text{cm}} + K_1\,\text{mm} + r_1 \text{ Zehntelmillimeter.}$$

Also die gesuchte Ebenweite:

$$\underline{S = 100\,L_\alpha} = \underline{\lambda\,\text{m} + K_1\,\text{dm} + r_1\,\text{cm.}} \qquad 37)$$

Bemerkung: Hätte man auf der Meßtrommel $T$ nicht nur die Anzahl $(K_1)$ der ganzen Teilintervalle abgelesen, sondern auch noch die Zehntel der Teilintervalle geschätzt und notiert, dann hätte man auch noch die Millimeter der Ebenweite $S$ angeben können. — Dies wäre aber nur eine scheinbare Erhöhung der Genauigkeit, weil das Instrument trotz aller Vorsicht eine durchschnittliche Genauigkeit von 3 bis 4 cm pro 100 m aufweist, also dieselbe Genauigkeit besitzt wie die direkte Längenmessung mit Stahlband.

Zu bemerken wäre auch noch, daß der Vertikalkreis nach Zenitdistanzen beziffert ist und außerdem auch noch mit einer Prozentskala ausgestattet wurde. — Beide Einrichtungen dienen der Bestimmung des Höhenunterschiedes zwischen Standpunkt und Zielpunkt. Ist $J$ die Instrumentenhöhe und $m$ die Zielpunktshöhe, dann wird der Höhenunterschied

$$\underline{H = S \cdot \operatorname{cotg} z + J - m} = \underline{\frac{S}{100} \cdot p\% + J - m} \quad (p \text{ wird an der \%-Skala abgelesen}). \qquad 38)$$

Damit wäre die Beschreibung und die Theorie der Anwendung des Instrumentes abgeschlossen; wohl aber muß noch eine kurze Untersuchung über die Prüfung der Reduktionsvorrichtung nachgetragen werden.

**Prüfung und Berichtigung der Reduktionsvorrichtung,** also einerseits der Zeigerverschiebung $i$ an der Latte und andererseits der Montierung des Drehkeiles.

Forderungen. 1. Die Zeigerverschiebung $i$ an der Latte soll genau so groß sein, daß

$$i = \frac{e + \Delta}{100} - 1\text{ mm}.$$

2. Der Drehkeil soll so montiert sein, daß er für horizontale Visur parallel gestellte vertikale Keilkanten hat.

Zu 1. In der Zeigerverschiebung $i$ ist nämlich der Scheitelabstand $e$ des Ablenkungswinkels $\delta$ etwas unsicher. Nun ist die Zeigerverschiebung $i$ an der Latte für den Wert $e = 88$ mm berechnet worden.

Ist dieser Abstand $e \neq 88$ mm, sondern $e = 88\,\text{mm} + de$, dann ist auch die Zeigerverschiebung an der Latte falsch. Setzt man in diesem Falle

und
$$\left.\begin{aligned} 88\,\text{mm} &= e' \\ \frac{e'+\Delta}{100} - 1\,\text{mm} &= 0{,}24\,\text{mm} = i', \end{aligned}\right\} \qquad 39)$$

dann wird die richtige Zeigerverschiebung:

$$\underline{i = \frac{e+\Delta}{100} - 1\,\text{mm}} = \frac{(e'+de)+\Delta}{100} - 1\,\text{mm} = \underline{i' + \frac{de}{100}}. \qquad 40)$$

Gibt die weiter unten angegebene Untersuchung

$$de = 0\,,$$

dann ist

$$i = i',$$

also der Apparat in Ordnung. Gibt sie aber

$$de \neq 0\,,$$

dann ist die Zeigerverschiebung falsch und muß berichtigt werden.

Wäre der Nonius auf der Latte verstellbar, etwa mit klemmbarer Schlittenführung ausgestattet, dann könnte man den Noniennullpunkt einfach auf die richtige Zeigerverschiebung $i$ einstellen. Da dies jedoch nicht der Fall ist so muß man die Berichtigung mit Hilfe der planparallelen Platte $p$ bzw. der Meßtrommel $T$ durchführen, indem man der Normalstellung mit Trommelablesung 0, eine andere Plattenneigung gegen die Zielachse $x$ zuordnet, so daß eine der Zeigerkorrektion $\frac{de}{100}$ entsprechende Verschiebung der Zielachse eintritt.

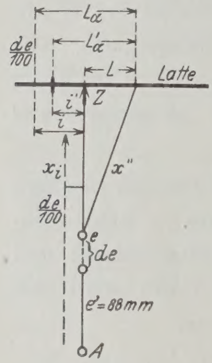


Abb. 13.

Ist $de > 0$ (positiv), dann erkennt man aus Abb. 13, daß die Lattenablesung $L'_\alpha = i' + L$ um den Betrag $\frac{de}{100}$ zu klein ist, weil $i'$ um diesen Betrag zu klein ist. Um den Fehler bei gleichbleibendem $i'$ zu kompensieren, muß man den Lattenabschnitt $L$ um die Strecke $\frac{de}{100}$ vergrößern, also die direkte Zielachse $x$ in die Lage $x_i$ bringen.

Hat man das durch Verdrehung der Platte $p$ mittels der Meßtrommel $T$ erreicht, dann hat man bei festgehaltenem Gestänge, also feststehender Platte $p$ die Trommelteilung zu lüften, auf den Nullpunkt zurückzudrehen und hiernach neuerlich zu fixieren.

Zielt man dann mit der verschobenen Zielachse $x_i$ auf den Zeiger $z$, dann erhält man einen vergrößerten Lattenabschnitt $L_i = L + \frac{de}{100}$ und die zugeordnete Lattenablesung ist

$$\underline{(L_\alpha)_i} = L_i + i' = L + \frac{de}{100} + i' \;40)\; = \underline{L + i = L_\alpha} \text{ (richtiger Wert).} \qquad 41)$$

Ist $de < 0$ (negativ), dann hat man dasselbe Verfahren anzuwenden, jedoch die Zielachse $x$ auf die entgegengesetzte Seite zu verschieben.

---

Zu 2. Wenn der Drehkeil in der Normalstellung, also bei horizontaler Visur keine parallel gestellten brechenden Kanten hat, dann ist der zugeordnete Ablenkungs-

winkel nicht gleich $\delta_0$, wie es sein soll, sondern gleich $\delta'_0 = \delta_0 \cdot \cos d\alpha$, wenn $d\alpha$ den Verdrehungswinkel und besser gesagt, den Verdrehungsfehler des Keiles $\varkappa_1$ vorstellt.

**Bestimmung des Scheitelabstandfehlers** $de$ **bzw. Zeigerfehlers** $\left(\frac{de}{100}\right)$ **und des Verdrehungsfehlers** $d\alpha$. — Um diese Bestimmung durchzuführen, macht man zwischen zwei beliebigen Punkten unter dem Neigungswinkel $\alpha$ die tachymetrische Beobachtung der Ebenweite $S$ hin und zurück. — Die sich ergebenden Beobachtungswerte seien $S'_{+\alpha}$ für Steigung bzw. $S'_{-\alpha}$ für Senkung in der Zielrichtung. — Die Ebenweite $S$ und der Neigungswinkel $\alpha$ sind möglichst unabhängig vom Instrument sehr genau bestimmt worden, also bekannt. — Nunmehr gilt folgende Überlegung:

Ist das Instrument fehlerfrei, d. h. gibt es den richtigen Lattenabschnitt $L_\alpha$, dann wird nach 36)

$$S = 100\, L_\alpha,$$

ist das Instrument falsch, d. h. gibt es den falschen Lattenabschnitt $L'_\alpha$, dann wird nach 36)

$$S' = 100\, L'_\alpha.$$

Nun ist nach 35)

$$L_\alpha = L + i \text{ 27)} = L_0 \cos\alpha + i$$

analog

$$L'_\alpha = L' + i' = L_0 \cos\alpha' + i'.$$

Und da

$$\alpha = \alpha' + d\alpha; \qquad i = i' + di = i' + \frac{de}{100}, \tag{42}$$

so wird:

$$L'_\alpha = L_0 \cdot \cos(\alpha - d\alpha) + i - \frac{de}{100} = (L_0 \cos\alpha + i) + L_0 \sin\alpha\, \widehat{d\alpha} - \frac{de}{100},$$

$$= L_\alpha + L_0 \sin\alpha\, \widehat{d\alpha} - \frac{de}{100}.$$

Somit ist

$$100\, L'_\alpha = 100\, L_\alpha + 100\, L_0 \sin\alpha \cdot \widehat{d\alpha} - de,$$

$$\underline{S'_\alpha = S_\alpha + 100\, L_0 \sin\alpha \cdot \widehat{d\alpha} - de.} \tag{43}$$

Nach dieser ganz allgemein gültigen Formel erhält man

$$\text{für die Steigung:} \quad S'_{+\alpha} = S_{+\alpha} + 100\, L_0 \sin\alpha \cdot \widehat{d\alpha} - de, \tag{44}$$

$$\text{„ „ Senkung:} \quad S'_{-\alpha} = S_{-\alpha} - 100\, L_0 \sin\alpha \cdot \widehat{d\alpha} - de. \tag{45}$$

44) + 45) gibt:

$$S'_{+\alpha} + S'_{-\alpha} = S_{+\alpha} + S_{-\alpha} - 2\, de = 2\, S - 2\, de; \qquad \underline{de = S - \frac{S'_{+\alpha} + S'_{-\alpha}}{2}}; \tag{46}$$

44) — 45) gibt:

$$S'_{+\alpha} - S'_{-\alpha} = \underbrace{S_\alpha - S_{-\alpha}}_{0} + 2 \cdot 100\, L_0 \sin\alpha \cdot \widehat{d\alpha} = 2 \cdot 100\, L_0 \sin\alpha \cdot \widehat{d\alpha}.$$

Daraus wird:

$$\underline{d\alpha''} = \varrho'' \cdot \frac{S'_{+\alpha} - S'_{-\alpha}}{2 \cdot 100\, L_0 \sin\alpha} \text{ 24)} = \underline{\varrho'' \cdot \frac{S'_{+\alpha} - S'_{-\alpha}}{2\,\{S - (e + \Delta)\}} \operatorname{cotg}\alpha.} \tag{47}$$

Der Ausdruck 47) wird unbestimmt für $\alpha = 0$; denn dann ist

$$\lim_{\alpha=0} \operatorname{cotg} \alpha = \infty$$

und

$$\lim_{\alpha=0} S_{+\alpha} - S_{-\alpha} = \lim_{\alpha=0} 2 \cdot 100\, L_0 \sin \alpha \cdot \widehat{d\alpha} = 0\,.$$

Daraus folgt der Satz: Zur Bestimmung des Verdrehungsfehlers $d\alpha$ sind steile Visuren zu verwenden! — Dagegen sind zur Bestimmung des Zeigerfehlers $\left(\frac{de}{100}\right)$ horizontale Visuren empfehlenswert, weil dann nach 44) oder 45) wegen $\alpha = 0$ sich ergibt:

$$\underline{de = S - S'_{+\alpha} = S - S'_{-\alpha}}\,. \tag{48}$$

Für die Prüfung und Berichtigung der Reduktionsvorrichtung empfiehlt sich daher nachstehender Vorgang:

Man bestimmt zuerst $de$ bei horizontaler Visur nach Formel 48) und berichtigt diesen Fehler mit Hilfe der planparallelen Platte $p$ und der Meßtrommel.

Hiernach ist

$$de = 0\,,$$

also wegen 46)

$$0 = S - \frac{S'_{+\alpha} + S'_{-\alpha}}{2}\,;$$

oder

$$\underline{S = \frac{S'_{+\alpha} + S'_{-\alpha}}{2}}\,. \tag{49}$$

Dies gibt den Satz: Nach Berichtigung des Zeigerfehlers $di = \frac{e}{100}$ gibt das arithmetische Mittel der beobachteten Ebenweiten aus Hin- und Rückmessung, den fehlerfreien Wert von $S$.

Mithin ist für Polygonzugsvermessungen, bei denen jede Seite immer aus Hin- und Rückmessung gewonnen wird, eine Berichtigung des Verdrehungsfehlers $d\alpha$ ganz überflüssig.

Dagegen kann es für kleintachymetrische Aufnahmen, die nur eine Hinmessung der Seiten kennt, mitunter nötig sein, den Verdrehungsfehler $d\alpha$ zu beseitigen.

Die Berichtigung dieses Fehlers macht man so:

Da nach der Berichtigung des Lattenzeigerfehlers $\left(\frac{de}{100}\right)$ der ganze auf die Keilverschwenkung $d\alpha$ zurückzuführen ist, so hat man weiter nichts zu tun, als nach Festlegung des wahren Wertes von $S$ durch direkte und indirekte Feinmessungen, oder aber etwas weniger genau durch Anwendung der Gl. 49), bei feststehendem Theodolite durch Verdrehung der Keile gegeneinander jene Lattenablesung $L_\alpha$ zu erzwingen, für welche

$$S = 100\, L_\alpha$$

ist. Sodann ist $d\alpha'' = 0$.

Diese Verdrehung der Keile geschieht mit zwei am Nonienträger bzw. am Träger der Versicherungslibelle montierten Korrektionsschräubchen, zwischen denen ein starrer

Arm des großen Zahnrades I festgeklemmt ist. — Die Betätigung dieser Schräubchen bewirkt eine Verdrehung des mit Reibung auf der Kippachse aufsitzenden großen Zahnrades I, also auch eine Verdrehung der Zahnräder II und III und damit auch der Keile gegeneinander bei feststehendem Theodolit.

Bemerkung. Vor den oben beschriebenen Prüfungs- und Berichtigungsarbeiten hat man die Versicherungslibelle genau zu justieren, so daß bei horizontaler Visur am Vertikalkreise die Ablesung 0 erscheint und die Versicherungslibelle genau einspielt.

Bei allen tachymetrischen Arbeiten hat man dann darauf zu achten, daß vor jeder Lattenablesung die Versicherungslibelle scharf zum Einspielen gebracht wird. — Denn ein diesbezüglicher Fehler $f$ erzeugt einen ebenso großen Keilverschwenkungsfehler $d\alpha = f$.

---

# Ermittlung der Zahnkranzfehler einer automatischen Kreisteilmaschine von G. Heyde nebst Bestimmung der Strichfehler eines auf dieser Maschine geteilten Kreises.

Von

**F. Ackerl** in Wien.

Die vorliegende Arbeit enthält die Ergebnisse einer Untersuchung über die Größe der Zahnkranzfehler bei einer selbsttätigen Teilmaschine von G. Heyde (Gesellschaft für Optik und Feinmechanik m. b. H. in Dresden), nebst der Bestimmung der Strichfehler und der Durchmesserfehler eines Kreises, der auf derselben Maschine geteilt worden war.

Der Zahnkranz der Teilmaschine (Fabr. Nr. 10035) hat einen Durchmesser von 500 mm und trägt an seinem Umfang 1080 Zähne ($^1/_3{}^0$ Intervall). Die Fortbewegung des Zahnkranzes besorgt eine Hohlschraube, welche mit 17 Schraubengängen einen Zahnbogen von 16 Zähnen ständig und gleichzeitig umfaßt.

In bezug auf die sonstige Einrichtung der Maschine wird verwiesen auf die neu erschienene Preisliste V der Firma G. Heyde.

Die Teilmaschine wurde im April des Jahres 1926 von der Firma Neuhöfer & Sohn, Aktiengesellschaft für geodätische Instrumente in Wien, angekauft. Für die Aufstellung der Maschine wurde ein tiefreichendes Betonfundament vorgesehen, so daß gänzliche Erschütterungsfreiheit um so mehr gewährleistet wird, als der Teilraum weitab von der Straße liegt. Der Antrieb der Hohlschraube und des Reißerwerkes erfolgt über die Triebwelle der Maschine, aus einem Nebenraum, durch einen Elektromotor von 0,1 PS Leistung.

Der infolge seiner Lage gegen Temperaturschwankungen an und für sich gut geschützte Teilraum erhält einen vollständigen Temperaturausgleich durch einen kurzen elektrischen Zylinderofen mit Ventilatoren und Feinreglung. Die Temperatur des Maschinenraumes bleibt auf diese Weise bis auf etwa 0,2 bis 0,4$^0$ C konstant.

Während des Arbeitens der Maschine ist der Teilraum abgeschlossen; die Temperaturreglung und die Kontrolle des Teilungsvorganges erfolgt von außen her. Zur Ablesung der in Kreishöhe im Teilraum angebrachten Thermometer und zur Be-

obachtung der Maschine wird für kurze Zeit eine hochkerzige Deckenlampe eingeschaltet.

Nachdem einige auf der Maschine geteilte Kreise von Schraubenmikroskoptheodoliten, welche teilweise nach der Methode von Heuvelink (1)[1], teilweise nach der Methode von Wild (2) untersucht worden waren, sich als gut erwiesen hatten, wurde ich aufgefordert, die Maschine selbst in bezug auf die Zahnkranzfehler zu untersuchen.

Für die Durchführung dieser Arbeit waren wesentlich maßgebend die Leitlinien, welche von G. Förster in „Kreisteilungsuntersuchungen“ (3), § 21 unter „Vorschläge zur Vereinfachung von Teilkreisuntersuchungen“ aufgestellt worden waren. Diese Vorschläge, welche Prof. Förster bei seiner „Untersuchung einer automatischen Kreisteilmaschine von Fennel“ (4), (5) selbst erstmalig praktisch verwendete, wurden in einer Einrichtung verwertet, die im Neuhöferschen Institut nach meinen Angaben hergestellt wurde und nachfolgend beschrieben ist.

Der ganze Trägerrahmen für das Reißerwerk wurde samt diesem von der Teilmaschine abgenommen und gewogen. An Stelle dieses Rahmens sollte nun bei der beabsichtigten Untersuchung ein neuer Rahmen eingesetzt werden, der mit den noch hinzu tretenden Metallteilen, Mikroskopen usw. eine dem normalen Rahmen entsprechende Belastung der Maschinenachse bewirken mußte.

Die Längsachse dieser Rahmenplatte liegt im Sinne der späteren Erläuterungen genau über der Verbindungslinie zwischen der Maschinenachse und der Mitte der Hohlschraube. Diese Linie gibt zugleich auch die Bewegungsrichtung des Teilstichels während der Arbeit an.

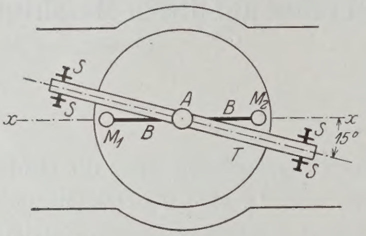


Abb. 1.

Zentrisch mit der Maschinenachse ist der Rahmen kreisförmig durchbrochen und diese Öffnung wird von einem starken Träger $T$ (siehe Abb. 1) überbrückt, der mit der Linie $xx$ einen Winkel von rund 15° einschließt. Dieser Träger hält bei $A$ das vertikale Achsenlager eines Armes $B$, an dessen Enden sich die beiden Beobachtungsmikroskope $M_1$ und $M_2$ befinden. Der Mikroskoparm $B$ hängt mit seiner Achse $A$ in dem Lager des Trägers $T$ und ist mit Ringklemme und Feinbewegung ausgestattet.

Denkt man sich einen Kreis auf den Achszapfen der Maschine aufgesetzt, so hält der Träger $T$ die beiden Mikroskope in beliebigen Stellungen über diesem Kreise fest, so daß gewissermaßen ein Theodolit mit hängender Alhidadenachse vorliegt.

An den Lagerstellen $S$ des Trägers $T$ sind auf der Rahmenplatte Seiten- und Höhenberichtigungsschrauben vorgesehen, welche es ermöglichen, die Drehungsachse des Mikroskoparmes über der Achse der Maschine bzw. über dem Mittelpunkt des Kreises zu zentrieren. Außerdem kann durch ein Lagergewinde bei $A$ der ganze Mikroskoparm gehoben oder gesenkt werden, so daß es zusammen mit den Justiereinrichtungen an den Mikroskopen ohne große Mühe gelingt, diese für die Beobachtungen gehörig zu berichtigen. Die Beleuchtung des Mikroskopgesichtsfeldes kann fein geregelt werden und wird hergestellt durch ein in einer metallenen Fassung versenkt liegendes 1 Volt-Lämpchen, welches sein Licht normal zur Achse des Mikroskopes in

[1] Siehe das Schriftenverzeichnis am Schluß der Arbeit.

dessen Blende abgibt, so daß eine direkte Bestrahlung der Teilung nicht eintreten kann. Die Lämpchen und deren Anbringung sind aus der Abb. 3 deutlich zu erkennen. Alle weiteren Einzelheiten können aus den Abbildungen 2 und 3 entnommen werden.

Die vorstehend beschriebene, bewegliche Anordnung der Mikroskope hat den Vorteil, daß die früher unbedingt notwendige Berichtigung nach einem Versetzen des Mikroskopes nunmehr wegfällt.

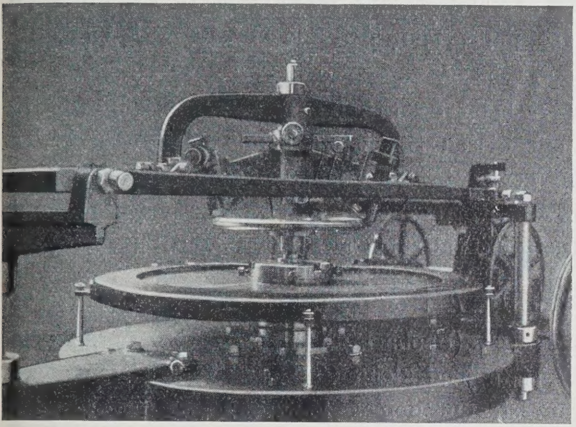


Abb. 2.

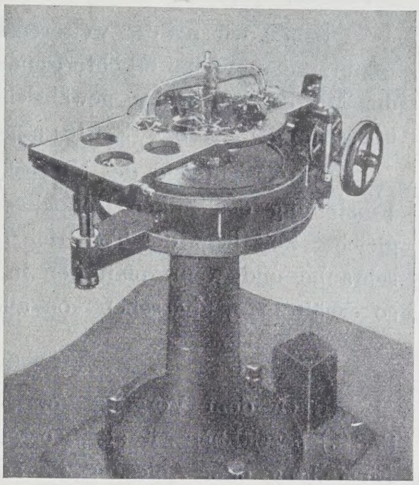


Abb. 3.

Der Träger $T$ schließt mit der Linie $xx$, wie bereits bemerkt, einen Winkel von rund $15^0$ ein, so daß in den beiden Stellungen, wo ein Mikroskop in der Linie $xx$ bzw. $30^0$ seitlich liegt, noch sehr angenehm und ohne Behinderung durch den Träger $T$, abgelesen werden kann.

Die Mikroskope hatten eine 34-fache Vergrößerung und waren ausgestattet mit einem Paar von Doppelfäden (rund 4,5 Umdrehungen Abstand). Hierdurch wurde die Run-Ermittlung sehr erleichtert und man erhielt auch sehr rasch zwei Ablesungen an benachbarten Strichen des Kreises. Ein Trommelteil des Mikrometers entsprach rund 2″.

Seit Inbetriebnahme der Maschine erfolgt die Fortdrehung des Zahnkranzes im Sinne des Uhrzeigers, so daß während der Teilung die Lesungen am Hilfskreisindex des Zahnkranzes abnehmen.

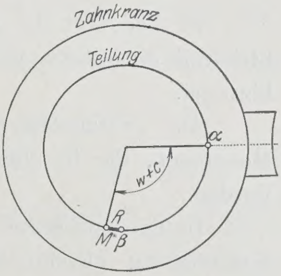



Abb. 4.

Die bei der normalen Teilungsarbeit vorhandene Drehrichtung und Geschwindigkeit wurde auch während der Untersuchung eingehalten.

Zufolge der Absicht, den Zahnkranz in Intervallen von $2^0$ zu $2^0$ zu untersuchen, wurde von der Firma G. Heyde ein Zahnsegment beigestellt, durch welches die Zahnscheibe fortlaufend um $2^0$ weitergedreht wurde.

Den Hilfsmaßstab für die Ermittlung der Zahnkranzfehler sollte ein Kreis liefern, der selbst auf der Maschine geteilt worden war. Es wurde hierzu der Kreis eines normalen Schraubenmikroskoptheodolites vorgesehen. Nach der Teilung kam dieser Kreis zum Schleifen und zum

Gravieren der Bezifferung. Er wurde sodann mit dem gleichen Konus auf Grund einer Marke in jener Stellung aufgesetzt, die er während des Teilungsvorganges inne hatte. Der Strich $0^0$ lag dabei sehr genau in der Richtung zur Mitte der Hohlschraube und der Index des Hilfskreises auf der Zahnscheibe stand ebenfalls auf $0^0$.

Vor einer weiteren Darstellung der Beobachtungsmethode seien kurz die theoretischen Voraussetzungen des Verfahrens angedeutet, wobei hier des leichteren Vergleiches wegen, die Bezeichnungen von Prof. Förster in den beiden Arbeiten (4), (5) verwendet werden.

Sehen wir bei der weiteren Entwicklung von dem zweiten Mikroskop ab, dessen Benutzung nur eine erhöhte Genauigkeit und zugleich die Beseitigung der Exzentrizität der Mikroskoparmachse gewährleistet, so findet man den allgemeinen Fall einer Ablesestellung in Abb. 4 (S. 513) angedeutet.

Im Gesichtsfeld des Mikroskopes erscheint der Strich $\beta$ der Kreisteilung und die Einstellung des linken Doppelfadens auf diesen Strich ergibt die Feinlesung $R$. Zu gleicher Zeit liegt der Teilstrich $\alpha$ sehr genau in der Richtung zur Mitte der Hohlschraube und wenn man den in Abb. 4 eingetragenen Winkel $w+c$ berücksichtigt, so erhält man, abgesehen von allen Instrumental- und Meßfehlern, die Beziehung:

$$\alpha+(w+c)=\beta+R \tag{1}$$

Nach dem Vorgang von Förster (4), (Beobachtungs- und Rechenprogramm, S. 8 ff.) bezeichnen wir als „Korrektion" stets jene kleine Größe, welche zu irgendeiner Einstellung oder Ablesung zu addieren ist, um den verbesserten Wert zu ergeben. Ein beliebiger Strich $\beta$ der Teilung hat daher den Winkelwert $\beta+[\beta]$, worin $[\beta]$ die „Strichkorrektion" des Striches $\beta$ darstellt.

Der ungefähr gegen die Mitte der Hohlschraube liegende Teilstrich $\alpha$ gibt nominell, auf ganze Grade abgerundet, den Winkel an, den der Teilungsnullpunkt mit der Hohlschraubenmitte einschließt. Berücksichtigt man die Verbesserung wegen der fehlerhaften Einstellung des Zahnkranzes durch die Hohlschraube, indem man die „Einstellkorrektion" $(\alpha)$ dem nominellen Betrag $\alpha$ zufügt, so erhält man den wahren Winkelwert $\alpha+(\alpha)$.

Schreibt man in Gl. 1) an Stelle der nominellen Werte $\alpha$ bzw. $\beta$ die verbesserten wahren Beträge $\alpha+(\alpha)$ bzw. $\beta+[\beta]$ und beachtet, daß jedem Winkel $w$ eine Konstante $c=c_w$ entspricht, so ergibt sich:

$$\alpha+(\alpha)+w+c_w=\beta+[\beta]+R_\beta^\alpha. \tag{2}$$

$R_\beta^\alpha$ bedeutet die Mikrometerlesung für jene Kreislage, bei der im Mikroskop der Strich $\beta$ eingestellt wird, während der Strich $\alpha$ auf die Mitte der Hohlschraube hinweist.

Als „Satzbeobachtung" bezeichnet Förster (4), S. 9, die Gesamtheit aller Messungen, die in allen $2^0$ Stellungen innerhalb der vollen Kreisdrehung ausgeführt werden.

In der vorliegenden Untersuchung wurden 12 Sätze gemessen, welche über den Kreisumfang gleichmäßig verteilt waren und in jedem Satz wurden die ersten 11 Stellungen am Ende des Satzes wiederholt, um die zeitliche Veränderung der Beobachtungseinrichtung feststellen und berücksichtigen zu können.

Kurz angedeutet ergaben sich, für die weiter vorne angemerkte Drehrichtung der Maschine, die folgenden Beobachtungsreihen.

**1. Satz**

$$\begin{aligned}
0+c_0 &= 0+[0]-0-(0)+R_0^0\\
0+c_0 &= 358+[358]-358-(358)+R_{358}^{358}\\
0+c_0 &= 356+[356]-356-(356)+R_{356}^{356}\\
0+c_0 &= 354+[354]-354-(354)+R_{354}^{354}\\
&\;\vdots\\
0+c_0 &= 2+[2]-2-(2)+R_2^2\\
\hline
0+c_0 &= 0+[0]-0-(0)+R_0^0\\
&\;\vdots\\
0+c_0 &= 340+[340]-340-(340)-R_{340}^{340}
\end{aligned}$$

überschüssige Beobachtungen

**2. Satz**

$$\begin{aligned}
30+c_{30} &= 0+[0]-330-(330)+R_0^{330}\\
30+c_{30} &= 358+[358]-328-(328)+R_{358}^{328}\\
30+c_{30} &= 356+[356]-326-(326)+R_{356}^{326}\\
30+c_{30} &= 354+[354]-324-(324)+R_{354}^{324}\\
&\;\vdots\\
30+c_{30} &= 2+[2]-332-(332)+R_2^{332}\\
\hline
30+c_{30} &= 0+[0]-330-(330)+R_0^{330}\\
&\;\vdots\\
30+c_{30} &= 340+[340]-310-(310)+R_{340}^{310}
\end{aligned}$$

**12. Satz**

$$\begin{aligned}
330+c_{330} &= 0+[0]-30-(30)+R_0^{30}\\
330+c_{330} &= 358+[358]-28-(28)-R_{358}^{28}\\
330+c_{330} &= 356+[356]-26-(26)+R_{356}^{26}\\
&\;\vdots
\end{aligned}$$

Ein und dieselbe Strichkorrektion $[\beta]$ bzw. Zahnkranzkorrektion $(\alpha)$ kommt in jedem Satz (abgesehen von den überschüssigen Messungen) einmal und im ganzen Programm daher zwölfmal vor.

Die Zusammenstellung der entsprechenden Bestimmungsgleichungen, z. B. für $[0]$ bzw. $(0)$, ergibt die folgenden Reihen:

$$\begin{aligned}
0+c_0 &= 0+[0]-0-(0)+R_0^0\\
30+c_{30} &= 0+[0]-330-(330)+R_0^{330}\\
60+c_{60} &= 0+[0]-300-(300)+R_0^{300}\\
&\;\vdots\\
300+c_{300} &= 0+[0]-60-(60)+R_0^{60}\\
330+c_{330} &= 0+[0]-30-(30)+R_0^{30}
\end{aligned}
\qquad
\begin{aligned}
0+c_0 &= 0+[0]-0-(0)+R_0^0\\
30+c_{30} &= 330+[330]-0-(0)+R_{330}^0\\
60+c_{60} &= 300+[300]-0-(0)+R_{300}^0\\
&\;\vdots\\
300+c_{300} &= 60+[60]-0-(0)+R_{60}^0\\
330+c_{330} &= 30+[30]-0-(0)+R_{30}^0
\end{aligned}$$

Bildet man den Mittelpunkt der 12 Gleichungen in jedem System und führt zur Abkürzung ein:

$$c=\frac{1}{12}\{c_0+c_{30}+c_{60}+\ldots+c_{300}+c_{330}\},$$

$$(\alpha)_0=\frac{1}{12}\{(0)+(330)+(300)+\ldots+(30)\},\qquad [\beta]_0=\frac{1}{12}\{[0]+[330]+[300]+\ldots+[30]\},$$

$$R_0=\frac{1}{12}\{R_0^0+R_0^{330}+R_0^{300}+\ldots+R_0^{30}\},\qquad R^0=\frac{1}{12}\{R_0^0+R_{330}^0+R_{300}^0+\ldots+R_{30}^0\},$$

so erhält man für die beiden Reihen:

$$c=[0]-(\alpha)_0+R_0 \quad\text{und}\quad c=[\beta]_0-(0)+R^0.$$

Für die Korrektionen [358], [356]... bzw. (358), (356)... ergibt sich:

$$c = [358] - (\alpha)_{358} + R_{358}, \qquad c = [\beta]_{358} - (358) + R^{358},$$
$$c = [356] - (\alpha)_{356} + R_{356}; \qquad c = [\beta]_{356} - (356) + R^{356};$$

und wie man sich leicht überzeugen kann ist stets:

$$(\alpha)_0 = (\alpha)_{30} = (\alpha)_{60} = \ldots = (\alpha)_{330}, \qquad [\beta]_0 = [\beta]_{30} = [\beta]_{60} = \ldots = [\beta]_{330},$$
$$(\alpha)_2 = (\alpha)_{32} = (\alpha)_{62} = \ldots = (\alpha)_{332}, \qquad [\beta]_2 = [\beta]_{32} = [\beta]_{62} = \ldots = [\beta]_{332},$$
$$\vdots \qquad\qquad \vdots$$
$$(\alpha)_{28} = (\alpha)_{58} = (\alpha)_{88} = \ldots = (\alpha)_{358}; \qquad [\beta]_{28} = [\beta]_{58} = [\beta]_{88} = \ldots = [\beta]_{358}.$$

Wenn man die Teilkreisdurchmesser $\beta$, $\beta + 30^0$, $\beta + 60^0$, ..., $\beta + 330^0$ als ein „Strahlensystem“ auffaßt, so liegen entsprechend dem gewählten Untersuchungsintervall von $2^0$, im Ganzen 15 derartige Strahlensysteme vor und diese 15 Systeme werden aufeinander abgestimmt bzw. gegeneinander in die richtige Lage gebracht durch die 15 „Strahlensystemkorrektionen“. Eine ähnliche Betrachtung gilt für die 15 Strahlensysteme des Zahnkranzes und deren Korrektionen.

Die sämtlichen „Strahlensystemkorrektionen“ wurden im Verlaufe dieser Untersuchung bestimmt durch den Vergleich aller $2^0$-Intervalle des Kreissektors von $300^0$ bis $270^0$ mit den sämtlichen $2^0$-Intervallen des Zahnkranzsektors von $0^0$ bis $330^0$.

Diese Sektorenbegrenzung war willkürlich, lediglich aus Bequemlichkeitsgründen für die Beobachter, festgesetzt worden.

Die theoretischen Einzelheiten einer solchen Maßstabvergleichung sind von Prof. Förster in (4) und (5), S. 13 ff. bzw. S. 8 ff. ausführlich dargestellt worden.

Aus Raumrücksichten muß auf diese Ausführungen verwiesen werden, wobei bemerkt wird, daß das von Prof. Förster entwickelte Verfahren für die dieser Arbeit zugrunde liegenden, oben angedeutenden Sektorengrenzen und dem vorgegebenen Drehsinn der Maschine entsprechend abgeändert wurde.

Nach dieser kurzen Angabe der theoretischen Grundlagen für die „Förstersche Methode der Kreisteilmaschinenprüfung“ sollen einige wichtige Voraussetzungen für das einwandfreie Gelingen der Untersuchung angedeutet werden.

Prof. Förster hat am Schluß der ersten Maschinenuntersuchung (4), S. 37 in den „Richtlinien“ unter Punkt 8 die Forderung gestellt, daß der Teilungsvorgang erst dann beginnen darf, wenn die Zahnscheibe eine volle Umdrehung ohne Unterbrechung zurückgelegt hat.

Da während eines vollen „Satzes“ der Hauptuntersuchung die Maschine wie bei einer effektiven Teilung läuft, hätte vor jedem solchen „Satz“ der Zahnkranz einmal leer durchlaufen müssen, um dem angedeuteten Verlangen zu entsprechen. Ganz besonders wäre der hierdurch entstehende Zeitverlust bei den Messungen für die Bestimmung der Strahlensystemkorrektionen zum Ausdruck gekommen.

Um zu einem Maß für die Zeitdauer zu gelangen, welche vom Anlaufen der Maschine ab verstreichen muß, bis der Gang als einwandfrei, die Maschine als „eingearbeitet“ angesehen werden kann, wurden umfangreiche Vorarbeiten durchgeführt.

Im wesentlichen wurde hierbei der folgende Vorgang eingehalten. Nach einmaligem vollem Leerlauf der Maschine wurden, ähnlich wie bei einem „Satz“, 30 Striche von je $2^0$ Intervall an den beiden Mikroskopen scharf eingemessen und diese Beobachtungen stellten in ihrer Gesamtheit das Kriterium für einwandfreies „Eingelaufensein“

dar. Nach diesen Messungen wurde die Hohlschraube abgehoben und die Zahnscheibe so verschwenkt, daß nach halbem (180°) Lehrlauf, die gleichen Striche wie vorher beobachtet werden konnten. In weiterer Folge wurde der Leerlauf nach jeder Messungsreihe zuerst um 30°, dann um 20°, 10°, 6° (da die Hohlschraube etwa 5° umfaßt) verringert, so daß schließlich Beobachtungen für jeweilige Leerlaufbogen von 360°, 180°, 150°, 120°, 100°, 80°, 60°, 50°, 40°, 36°, 30°, ..., 6° vorlagen. Über die hierbei erhaltenen Ergebnisse soll gelegentlich berichtet werden. Es zeigte sich, daß die Maschine bei einem Lehrlaufbogen von 40° als hinreichend „eingearbeitet" anzusehen ist.

Demgemäß wurde festgesetzt, daß nach jedem Abheben der Hohlschraube und Verdrehen der Zahnscheibe die Maschine einen Bogen von 40° leer durchdrehen müsse, bevor eine Mikrometereinstellung vorgenommen werden sollte.

Der wegen dieser Vorsichtsmaßregel eingetretene Zeitverlust wurde reichlich wettgemacht durch die gute Übereinstimmung der Messungen, welche sich ganz besonders bei den Beobachtungen zur Bestimmung der Strahlensystemkorrektionen zeigte, obwohl gerade diese Messungen eine sehr häufige Unterbrechung des Maschinenganges bedingen.

Während der Beobachtungen war es naturgemäß unmöglich, die Temperatur des Raumes so gleichförmig zu erhalten, wie dies beim Teilvorgang selbst mühelos erreicht werden kann. Der regelmäßige Einfluß der Temperaturänderungen äußert sich in den Differenzen der Einstellungen für gleiche Striche, welche am Beginn und, als Wiederholung, am Ende jedes Satzes ausgeführt werden. Diese Widersprüche wurden schon in den einzelnen Sätzen proportional auf alle Beobachtungen verteilt und erst mit diesen verbesserten Werten wurden die sämtlichen Rechnungen durchgeführt. Durch diese Reduktion der ursprünglichen Messungen, welche recht langwierig, aber unschwer auszuführen ist, erspart man die neuerliche Widerspruchsverteilung für die Berechnung der Zahnkranzkorrektionen (Förster (4), S. 13).

Die Ablesungen am Mikroskop II besorgte Herr Ing. J. Puymann und die Eintragung der Messungen in die vorbereiteten Tabellen wurde von Fräulein J. Maier vorgenommen.

Am Beginn und Ende jedes Satzes wurde die Entfernung $d$ der Doppelfäden im Mikroskop aus je 10 Doppeleinstellungen eines Teilstriches ermittelt. Die Messungen in jedem Satz wurden reduziert mit dem Mittel aus diesen beiden Fadenabstandsbestimmungen.

Wegen der von Anfang an guten Abstimmung der Mikroskope auf das Teilungsintervall von 10′ und weil bei der im Verlauf eines Satzes nahezu gleichbleibenden Stellung der Meßschraube die Runverbesserung nur wenig veränderlich ist, wurde von einer Anbringung der Runkorrektion an die einzelnen Ablesungen abgesehen. Da ein Intervall der Meßtrommel sehr genau 2″ entsprach, ergab die Summe $a + b$ (der in Trommelteilen gefundenen Einstellungen $a$, $b$) den „Ablesungsbetrag" in Bogensekunden.

Bedeutet nämlich $a$ die Trommelablesung für die Einstellung des linken Doppelfadens am rückwärts liegenden Teilstrich, $b'$ die Lesung bei Einstellung des rechten Doppelfadens auf den vorwärts liegenden Teilstrich, $J$ das Teilungsintervall und $d$ den Abstand der beiden Doppelfäden, dann ist die effektive zweite Ablesung $b$ gegeben durch: $b = b' + (J - d)$.

Das Mittel der entsprechenden „Ablesungsbeträge" an den beiden Mikroskopen wurde als der den theoretischen Entwicklungen zugrunde liegende Wert $R_\beta^\alpha$ aufgefaßt, so daß also jeder Wert $R_\beta^\alpha$ der vorliegenden Untersuchung aus vier einzelnen Stricheinstellungen entstanden ist.

Da während der Hauptuntersuchung 12 Sätze gemessen wurden und in jedem Satze (die überschüssigen Messungen eingeschlossen) mit beiden Mikroskopen 764 Einstellungen vorgenommen wurden, ergaben sich insgesamt 9168 notwendige Stricheinstellungen für die Hauptuntersuchung.

An einem Tage wurden 4 Sätze gemessen, so daß die Hauptuntersuchung drei Tage dauerte (4. 2. bis 6. 2. 1929).

Zur Ermittlung der Strahlensystemkorrektionen waren 254 $R_\beta^\alpha$-Werte durch insgesamt 1016 einzelne Stricheinstellungen zu bestimmen.

Gelegentlich dieser Messungen mußte die Hohlschraube 29 mal vom Zahnkranz abgehoben und nach entsprechender Einstellung der Zahnscheibe wieder an diese angelegt werden, so daß die Maschine 29 mal je $40^0$ leer durchlaufen mußte, bis gemessen werden konnte.

Da die vielen Eingriffe in den Gang der Maschine es als wünschenswert erscheinen ließen, die Beobachtungsreihen nicht durch größere Pausen störend zu beeinflussen, wurden die gesamten Messungen zur Bestimmung der Strahlensystemkorrektionen an einem einzigen Tag (7. 2. 1929) durchgeführt.

Es konnte dies um so eher erreicht werden, als die am Beginne beschriebene Apparatur eine sehr rasche Mikroskopversetzung, ohne neuerliche Abstimmung auf das Teilungsintervall, gestattet.

Während kleinerer Pausen wurden im ganzen 7 mal die Fadenabstände für jedes der beiden Mikroskope bestimmt und mit dem hieraus folgenden Mittelwert wurden die sämtlichen Messungen, wie vorne angegeben, reduziert.

Im Sinne der theoretischen Entwicklungen der Hauptuntersuchung waren vorerst die Widersprüche der Satzschlüsse zu beseitigen, wobei im Maximum bei Satz 4 eine Differenz von — 2,49″ auf 180 Werte verteilt wurde. Die verbesserten Beträge führten zur Kenntnis der Werte $R^\alpha$ bzw. $R_\beta$. Diese Reihe der $R^\alpha$ bzw. der $R_\beta$ wurde sodann auf die Summe Null gebracht und nach Zurechnung der Strahlensystemkorrektionen ergaben sich die Strich- bzw. Zahnkranzkorrektionen (mit Vorzeichenumkehr die entsprechenden Fehler).

Von einer ausführlichen Darstellung des umfangreichen Zahlenmaterials der Zwischenergebnisse und des Rechenganges, der wohl ohne weiteres klarliegt, muß aus Raumgründen abgesehen werden.

In der nachfolgenden Zusammenstellung (S. 519) sind die „Strichfehler“ des Hilfskreises und die „Zahnkranzfehler“ der Maschine zahlenmäßig ausgewiesen.

Aus der Reihe der Zahnkranzfehler ist das Vorhandensein einer Exentrizität des Zahnkranzes gegenüber dem Hilfskreis zu ersehen.

Die Genauigkeit der Untersuchungsmethode möge an der Hand einiger Zahlenwerte angedeutet werden, wobei aus Raumrücksichten auf nähere Einzelheiten verzichtet und auf die grundlegenden Entwicklungen in den Arbeiten von Prof. Förster (4), S. 26 bzw. (5), S. 18 verwiesen wird.

Mit Einhaltung der dortselbst eingehend begründeten Rechenwege und mit deren Anwendung auf die hier vorliegenden Verhältnisse wurden für die Genauigkeit der Maschinenarbeit und der Beobachtungen die folgenden Kennzeichen berechnet.

1. Mittlerer reiner Fehler $\mu$ eines $R_\beta^\alpha$-Wertes:

$$\mu = \pm 0'',207, \quad (\mu^2 = 0,0427).$$

(Jeder Betrag $R_\beta^\alpha$ entsteht durch vier einzelne Stricheinmessungen.)

Tabelle 1.

| ° | in 0,001″ | | ° | in 0,001″ | | ° | in 0,001″ | | ° | in 0,001″ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Strichfehler | Zahnfehler | | Strichfehler | Zahnfehler | | Strichfehler | Zahnfehler | | Strichfehler | Zahnfehler |
| 0 | − 139 | − 1184 | 90 | + 359 | + 364 | 180 | − 98 | + 1186 | 270 | + 2 | − 90 |
| 2 | − 132 | − 1159 | 92 | + 447 | + 378 | 182 | − 30 | + 1104 | 272 | − 20 | − 226 |
| 4 | − 49 | − 945 | 94 | + 397 | + 292 | 184 | − 11 | + 921 | 274 | − 49 | − 239 |
| 6 | − 84 | − 854 | 96 | + 296 | + 233 | 186 | + 37 | + 835 | 276 | − 95 | − 242 |
| 8 | + 13 | − 872 | 98 | + 257 | + 310 | 188 | + 69 | + 702 | 278 | − 10 | − 184 |
| 10 | − 1 | − 860 | 100 | + 122 | + 370 | 190 | + 93 | + 652 | 280 | + 33 | − 368 |
| 12 | + 5 | − 887 | 102 | + 104 | + 366 | 192 | + 125 | + 617 | 282 | + 88 | − 408 |
| 14 | + 22 | − 805 | 104 | + 4 | + 405 | 194 | − 41 | + 564 | 284 | + 110 | − 550 |
| 16 | + 47 | − 883 | 106 | − 86 | + 435 | 196 | − 201 | + 670 | 286 | + 74 | − 585 |
| 18 | + 114 | − 858 | 108 | − 123 | + 417 | 198 | − 228 | + 572 | 288 | + 51 | − 597 |
| 20 | + 192 | − 698 | 110 | − 102 | + 499 | 200 | − 177 | + 456 | 290 | + 29 | − 776 |
| 22 | + 272 | − 720 | 112 | − 126 | + 598 | 202 | − 204 | + 414 | 292 | 0 | − 752 |
| 24 | + 290 | − 689 | 114 | − 155 | + 654 | 204 | − 198 | + 332 | 294 | − 99 | − 803 |
| 26 | + 317 | − 698 | 116 | − 140 | + 587 | 206 | − 118 | + 301 | 296 | − 154 | − 748 |
| 28 | + 420 | − 725 | 118 | − 205 | + 530 | 208 | − 10 | + 247 | 298 | − 144 | − 728 |
| 30 | + 397 | − 724 | 120 | − 218 | + 590 | 210 | − 3 | + 321 | 300 | − 144 | − 620 |
| 32 | + 423 | − 566 | 122 | − 201 | + 614 | 212 | + 47 | + 451 | 302 | − 123 | − 539 |
| 34 | + 460 | − 535 | 124 | − 275 | + 622 | 214 | + 43 | + 523 | 304 | − 111 | − 593 |
| 36 | + 355 | − 495 | 126 | − 361 | + 531 | 216 | + 22 | + 461 | 306 | − 183 | − 474 |
| 38 | + 377 | − 421 | 128 | − 405 | + 410 | 218 | + 32 | + 599 | 308 | − 210 | − 446 |
| 40 | + 342 | − 318 | 130 | − 434 | + 417 | 220 | + 51 | + 588 | 310 | − 290 | − 386 |
| 42 | + 320 | − 154 | 132 | − 555 | + 395 | 222 | + 40 | + 607 | 312 | − 308 | − 443 |
| 44 | + 299 | − 129 | 134 | − 568 | + 445 | 224 | + 35 | + 624 | 314 | − 280 | − 449 |
| 46 | + 312 | − 32 | 136 | − 496 | + 379 | 226 | − 35 | + 498 | 316 | − 311 | − 414 |
| 48 | + 282 | − 53 | 138 | − 540 | + 433 | 228 | − 164 | + 402 | 318 | − 299 | − 534 |
| 50 | + 299 | + 10 | 140 | − 387 | + 410 | 230 | − 192 | + 367 | 320 | − 253 | − 619 |
| 52 | + 255 | − 76 | 142 | − 304 | + 440 | 232 | − 191 | + 264 | 322 | − 193 | − 593 |
| 54 | + 236 | + 1 | 144 | − 248 | + 576 | 234 | − 147 | + 205 | 324 | − 152 | − 650 |
| 56 | + 257 | + 90 | 146 | − 197 | + 544 | 236 | − 74 | + 129 | 326 | − 78 | − 583 |
| 58 | + 296 | + 176 | 148 | − 152 | + 682 | 238 | − 64 | + 205 | 328 | − 77 | − 637 |
| 60 | + 313 | + 72 | 150 | − 125 | + 734 | 240 | + 66 | + 245 | 330 | − 119 | − 701 |
| 62 | + 343 | − 57 | 152 | − 120 | + 703 | 242 | + 191 | + 313 | 332 | − 112 | − 782 |
| 64 | + 340 | + 28 | 154 | − 116 | + 718 | 244 | + 275 | + 355 | 334 | − 100 | − 765 |
| 66 | + 302 | + 226 | 156 | − 150 | + 717 | 246 | + 248 | + 204 | 336 | − 164 | − 774 |
| 68 | + 312 | + 222 | 158 | − 102 | + 742 | 248 | + 268 | + 273 | 338 | − 131 | − 880 |
| 70 | + 244 | + 357 | 160 | − 66 | + 721 | 250 | + 165 | + 131 | 340 | − 112 | − 878 |
| 72 | + 232 | + 204 | 162 | − 21 | + 741 | 252 | + 128 | + 25 | 342 | − 168 | − 943 |
| 74 | + 261 | + 359 | 164 | + 21 | + 815 | 254 | + 121 | − 171 | 344 | − 148 | − 1055 |
| 76 | + 249 | + 303 | 166 | − 23 | + 769 | 256 | + 161 | − 149 | 346 | − 114 | − 1114 |
| 78 | + 246 | + 346 | 168 | − 67 | + 916 | 258 | + 126 | − 275 | 348 | − 117 | − 1212 |
| 80 | + 201 | + 325 | 170 | − 175 | + 1026 | 260 | + 117 | − 186 | 350 | − 89 | − 1195 |
| 82 | + 258 | + 435 | 172 | − 179 | + 1120 | 262 | + 117 | − 292 | 352 | − 41 | − 1221 |
| 84 | + 302 | + 282 | 174 | − 261 | + 1183 | 264 | + 53 | − 296 | 354 | − 119 | − 1241 |
| 86 | + 343 | + 217 | 176 | − 231 | + 1182 | 266 | + 87 | − 197 | 356 | − 125 | − 1203 |
| 88 | + 367 | + 290 | 178 | − 155 | + 1184 | 268 | + 58 | − 128 | 358 | − 182 | − 1174 |

2. Mittlerer Fehler $m_t$ wegen mangelhafter Einstellung des Zahnkranzes durch die Hohlschraube:

$$m_t = \pm 0'',133, \quad (m_t^2 = 0,0177).$$

3. Mittlerer Fehler $m_T$ wegen der durch die proportionale Verteilung der Satzwidersprüche nicht getilgten unregelmäßigen Veränderlichkeit der Beobachtungseinrichtung während eines Satzes der Hauptuntersuchung:

$$m_T = \pm 0'',165, \quad (m_T^2 = 0,0272).$$

4. Mittlere zufällige Exzentrizität der Maschinenachse:

$$m_\varepsilon = \pm 0'',100 \quad \{m_\varepsilon^2 = \pm (0,0101 \pm 0,0320)\}.$$

Wenn man nun noch die erreichte Genauigkeit in der Bestimmung einer Strich- oder Zahnkorrektion erkennen will, so hat man die eben angemerkten Einzelfehler auf Grund einfacher Überlegungen (siehe (4), S. 30) entsprechend ihrem gleichzeitigen Auftreten zusammenzusetzen.

Es ergibt sich so:

der mittlere Fehler in der Angabe einer Strichverbesserung (oder eines Strichfehlers) mit: $\pm 0'',09$;

der mittlere Fehler in der Angabe einer Zahnverbesserung (oder eines Zahnfehlers) mit: $\pm 0'',11$;

der mittlere Fehler in der Bestimmung einer Systemkorrektion (des Zahnkranzes oder des Teilkreises) mit: $\pm 0'',06$.

Diese Zahlen, im Verein mit den in der Tabelle 1 vorgelegten Fehlerbeträgen kennzeichnen vollständig die Güte der Teilmaschine und die Genauigkeit des auf dieser Maschine hergestellten Hilfskreises.

Als praktisches Maß für die Güte einer Kreisteilung sind die „Durchmesserfehler“ anzusehen. Die „Durchmesserfehler“ des Hilfskreises wurden aus den entsprechenden Strichfehlern berechnet und in der folgenden Tabelle 2 zusammengestellt.

Tabelle 2. Durchmesserfehler.

| ° | 0'',001 | ° | 0'',001 | ° | 0'',001 | ° | 0'',001 | ° | 0'',001 | ° | 0'',001 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | — 118 | 30 | + 197 | 60 | + 189 | 90 | + 180 | 120 | — 181 | 150 | — 122 |
| 2 | — 81 | 32 | + 235 | 62 | + 267 | 92 | + 214 | 122 | — 162 | 152 | — 116 |
| 4 | — 30 | 34 | + 251 | 64 | + 307 | 94 | + 174 | 124 | — 193 | 154 | — 108 |
| 6 | — 24 | 36 | + 189 | 66 | + 275 | 96 | + 100 | 126 | — 272 | 156 | — 157 |
| 8 | + 41 | 38 | + 204 | 68 | + 290 | 98 | + 124 | 128 | — 308 | 158 | — 117 |
| 10 | + 46 | 40 | + 197 | 70 | + 205 | 100 | + 77 | 130 | — 362 | 160 | — 89 |
| 12 | + 65 | 42 | + 180 | 72 | + 180 | 102 | + 96 | 132 | — 431 | 162 | — 95 |
| 14 | — 10 | 44 | + 167 | 74 | + 191 | 104 | + 57 | 134 | — 424 | 164 | — 63 |
| 16 | — 77 | 46 | + 138 | 76 | + 205 | 106 | — 6 | 136 | — 403 | 166 | — 68 |
| 18 | — 57 | 48 | + 59 | 78 | + 186 | 108 | — 36 | 138 | — 420 | 168 | — 92 |
| 20 | + 7 | 50 | + 54 | 80 | + 159 | 110 | — 37 | 140 | — 320 | 170 | — 132 |
| 22 | + 34 | 52 | + 32 | 82 | + 187 | 112 | — 63 | 142 | — 248 | 172 | — 110 |
| 24 | + 46 | 54 | + 44 | 84 | + 178 | 114 | — 127 | 144 | — 200 | 174 | — 190 |
| 26 | + 100 | 56 | + 92 | 86 | + 215 | 116 | — 147 | 146 | — 137 | 176 | — 178 |
| 28 | + 205 | 58 | + 116 | 88 | + 213 | 118 | — 174 | 148 | — 114 | 178 | — 169 |

Die nunmehr vorliegenden Reihen der Zahnkranz- bzw. Strichfehler (Tabelle 1) und der Durchmesserfehler (Tabelle 2) wurden zur Feststellung des periodischen Fehleranteiles analysiert.

Eine vorläufige Übersicht wurde gewonnen durch mechanische Analyse mit dem „Harmonischen Analysator von Dr. O. Mader“, über dessen Genauigkeit seinerzeit (6) berichtet worden war.

Dieser Apparat wurde mir (wie in (6) angegeben) auch für diese Untersuchung von dem Vorstande der Lehrkanzel für Meteorologie, Herrn Prof. Dr. W. Schmidt, gütigst zur Verfügung gestellt.

Die zur Verarbeitung verwendeten Schaubilder waren auf Millimeterpapier mit einer Schärfe von etwa 0,1 mm gezeichnet und hatten die folgenden Ausmaße.

| Fehler | 2° Intervall | Gesamtlänge | 0,1″ Amplitude entsprach |
|---|---|---|---|
| Zahnkranz- | 2 mm | 360 mm | 5 mm |
| Strich- | 2 mm | 360 mm | 10 mm |
| Durchmesser- | 4 mm | 360 mm | 10 mm |

Die mechanische Reihenentwicklung wurde an Hand der Zeichnungen bis zum neunten Glied fortgeführt und die nachfolgende zahlenmäßige Analyse erstreckte sich auf die Berechnung jener Glieder, bei welchen sich auf Grund der mechanischen Analyse eine Amplitude größer als 0″,05 ergeben hatte.

Von einer Mitteilung der Einzelergebnisse muß aus Raumrücksichten abgesehen werden. Es sei nur bemerkt, daß bei der endgiltigen rechnerischen Auswertung für jedes Glied der Fourierschen Entwicklung ein Schema ausgearbeitet wurde, welches die Zahl der notwendigen sin- bzw. cos-Multiplikationen auf einen Kleinstwert bringt (7).

Die Umordnung der zu analysierenden Fehlerreihen von je 180 Zahlen bei den Zahnkranz- bzw. Strichfehlern und von 90 Werten bei den Durchmesserfehlern erfolgte schematisch mit Hilfe einer Schreibmaschine.

Die Ergebnisse der mechanischen Reihenentwicklung mit dem Analysator sind den entsprechenden Beträgen aus der rechnerisch durchgeführten Analyse in der nachfolgenden Tafel zum Vergleiche gegenübergestellt.

| Zahnfehler | | | | | Strichfehler | | | | | Durchmesserfehler | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Glied | Mechanische Analyse | | Rechnerische Analyse | | Glied | Mechanische Analyse | | Rechnerische Analyse | | Glied | Mechanische Analyse | | Rechnerische Analyse | |
| | Ampl. 0″,001 | Phase ° | Ampl. 0″,001 | Phase ° | | Ampl. 0″,001 | Phase ° | Ampl. 0″,001 | Phase ° | | Ampl. 0″,001 | Phase ° | Ampl. 0″,001 | Phase ° |
| 1 | 818 | 288,6 | 828 | 289,0 | 1 | 114 | 52,7 | 117 | 50,6 | | | | | |
| 2 | 95 | 309,9 | 98 | 309,1 | 2 | 221 | 335,2 | 219 | 338,3 | 1 | 221 | 342,8 | 219 | 338,3 |
| 3 | 144 | 252,0 | 149 | 251,4 | 3 | 67 | 281,5 | 68 | 287,8 | | | | | |
| 4 | 78 | 208,9 | 79 | 205,9 | 4 | 69 | 113,2 | 62 | 104,0 | 2 | 69 | 121,5 | 69 | 104,0 |
| 5 | 118 | 297,7 | 108 | 291,4 | 5 | 57 | 311,4 | 59 | 315,6 | | | | | |
| 6 | 28 | 131,5 | — | — | 6 | 63 | 236,6 | 63 | 241,6 | 3 | 65 | 257,8 | 63 | 241,6 |
| 7 | 90 | 351,6 | 98 | 335,2 | 7 | 31 | 50,9 | — | — | | | | | |
| 8 | 44 | 277,8 | — | — | 8 | 32 | 264,6 | — | — | 4 | 40 | 291,1 | — | — |
| 9 | 6 | 267,9 | — | — | 9 | 18 | 184,2 | — | — | | | | | |

Man erkennt auch hier (wie bereits in (6) festgestellt) die praktisch vollständig ausreichende Übereinstimmung der mechanischen und der rechnerischen Reihenauflösung.

Mit Unterdrückung aller Einzelheiten ergeben sich nun die folgenden periodischen Anteile in den betreffenden Fehlerreihen (wobei nur Glieder mit einer Amplitude größer als 0″,05 mitgenommen werden).

1. Zahnkranzfehler:

$$Z = 0'',828 \sin(\varphi + 289^0,0) + 0'',098 \sin(2\varphi + 309^0,1) + 0'',149 \sin(3\varphi + 251^0,4) + 0'',079 \sin(4\varphi + 205^0,9) + 0'',108 \sin(5\varphi + 291^0,4) + 0'',098 \sin(7\varphi + 335^0,2).$$

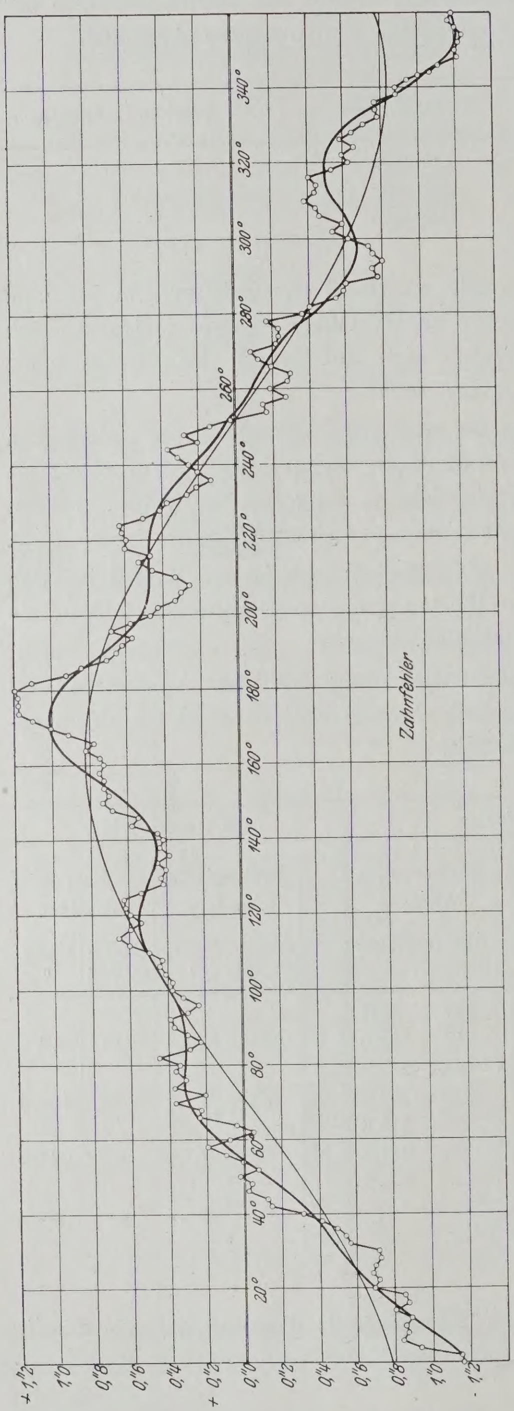



Abb. 5.

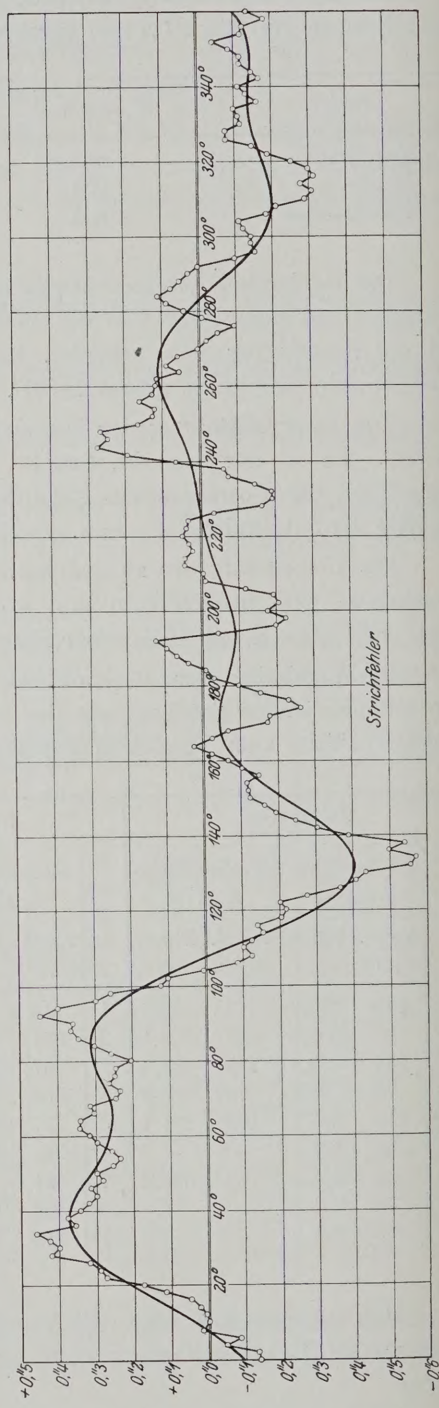



Abb. 6.

2. Strichfehler:

$$S = 0'',117 \sin(\varphi + 50^0,6) + 0'',219 \sin(2\varphi + 338^0,3) + 0'',068 \sin(3\varphi + 287^0,8) + 0'',062 \sin(4\varphi + 104^0,0) + 0'',059 \sin(5\varphi + 315^0,6) + 0'',063 \sin(6\varphi + 241^0,6).$$

3. Durchmesserfehler:

$$D = 0'',219 \sin(2\varphi + 338^0,3) + 0'',062 \sin(4\varphi + 104^0,0) + 0'',063 \sin(6\varphi + 241^0,6).$$

Die Schaubilder zeigen neben dem aus Tabelle 1 bzw. Tabelle 2 entnommenen Fehlerpolygon den Verlauf des eben angedeuteten periodischen Anteiles.

In Abb. 5 (Zahnfehler) wurde überdies noch die Schwingung des ersten Gliedes (Exzentrizität) eingezeichnet.

Der Einfluß dieser Exzentrizität kann nicht als eigentlicher Zahnfehler aufgefaßt werden. Obwohl die Exzentrizität des Zahnkranzes auf die Teilung jedes Kreises übertragen wird, gestatten es bekannte Maßnahmen, die Wirkung dieser Folge-Exzentrizität zu beseitigen.

Es wurde deshalb der entsprechende Betrag des ersten Gliedes von den sämtlichen in Tabelle 1 ausgewiesenen Zahnfehlern abgezogen und die derart ermittelten „Totalen Zahnfehler“ sind in der Abb. 8 durch das Fehlervieleck versinnbildlicht.

Die geschwungene Linie deutet den Verlauf des periodischen Teiles (ohne erstes Glied: Exzentrizität) an.

Zur Kennzeichnung der zufälligen Fehlerreste dienen die folgenden Angaben, welche das Endergebnis, der zu ihrer Ermittlung notwendigen weitläufigen Rechnungen sind.

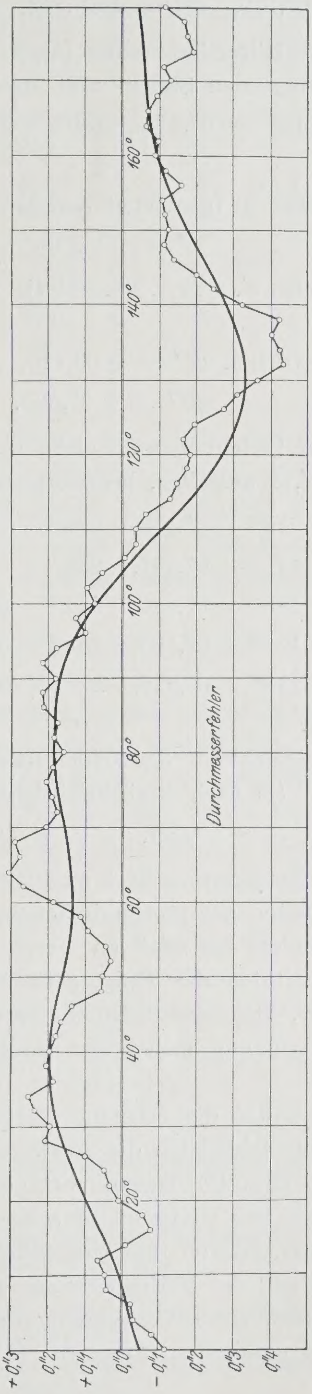


Abb. 7.

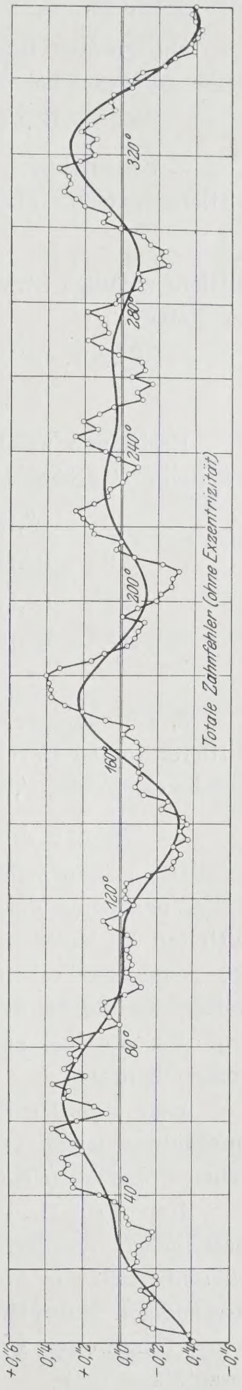


Abb. 8.

1. Zahnfehler:

Mittlerer „voller“ Zahnfehler $\alpha$ (nach Tabelle 1. mit Exzentrizität):

$$\alpha = \pm\, 0'',618.$$

Mittlerer totaler Zahnfehler $\alpha'$ (gerechnet aus den Beträgen, welche durch Abb. 8 dargestellt sind, also mit Ausschaltung des ersten Gliedes der Reihe $Z$):

$$\alpha' = \pm\, 0'',198.$$

Mittlere zufällige Zahnfehler $\alpha'', \alpha''', \ldots, \alpha^{V}, \alpha^{VII}$ (je nach Berücksichtigung der Glieder der Reihe $Z$):

$$\alpha'' = \pm\, 0'',185, \quad \alpha''' = \pm\, 0'',152, \quad \alpha^{IV} = \pm\, 0'',142, \quad \alpha^{V} = \pm\, 0'',119, \quad \alpha^{VII} = \pm\, 0'',097.$$

Die größten Reste zufälliger Zahnfehler (nach vollständiger Berücksichtigung der Reihe $Z$) liegen bei den folgenden Stellen und erreichen die nachstehenden Beträge:

$$62^0 - 0'',226, \quad 166^0 - 0'',225, \quad 180^0 + 0'',231, \quad 208^0 - 0'',220.$$

2. Strichfehler.

Mittlerer „voller" Strichfehler $\beta$ (gerechnet aus Tabelle 1):

$$\beta = + 0'',218.$$

Mittlere zufällige Strichfehler $\beta', \beta'', \ldots, \beta^{V}, \beta^{VI}$ (je nach Berücksichtigung der Glieder der Reihe $S$):

$$\beta' = \pm\, 0'',202, \quad \beta'' = \pm\, 0'',129, \quad \beta''' = \pm\, 0'',120, \quad \beta^{IV} = \pm\, 0'',112, \quad \beta^{V} = \pm\, 0'',104,$$
$$\beta^{VI} = \pm\, 0'',094.$$

Reste von zufälligen Strichfehlern, welche nach vollständiger Berücksichtigung der Reihe $S$ größer als $0'',15$ ausfallen, befinden sich an den folgenden Kreisstellen:

| | | | |
|---|---|---|---|
| $92^0 + 0'',169$, | $174^0 - 0'',216$, | $228^0 - 0'',164$, | $244^0 + 0'',235$, |
| $132^0 - 0'',154$, | $176^0 - 0'',181$, | $230^0 - 0'',197$, | $246^0 + 0'',198$, |
| $134^0 - 0'',171$, | $188^0 + 0'',152$, | $232^0 - 0'',199$, | $248^0 + 0'',211$, |
| $138^0 - 0'',169$, | $190^0 + 0'',180$, | $234^0 - 0'',158$, | $276^0 - 0'',161$, |
| | $192^0 + 0'',212$, | $242^0 + 0'',159$. | |

3. Durchmesserfehler.

Mittlerer totaler Durchmesserfehler $\tau$ (gerechnet nach Tabelle 2), und mittlere zufällige Durchmesserfehler $\tau', \tau'', \tau'''$ (je nach Berücksichtigung der Glieder der Reihe $D$);

$$\tau = \pm\, 0'',183; \quad \tau' = \pm\, 0'',097, \quad \tau'' = \pm\, 0'',087, \quad \tau''' = \pm\, 0'',075.$$

Der größte zufällige Fehlerrest gehört zum Durchmesser $64^0$ und beträgt $0'',159$.

Vor Beginn der Arbeiten zur mechanischen bzw. rechnerischen Analyse der ermittelten Fehlerreihen wendete ich mich an Herrn Prof. Dr. L. W. Pollak, Vorstand des geophysikalischen Institutes der Universität Prag, mit der Bitte, ob die drei Reihen für die Zahnkranz-, Strich- und Durchmesserfehler mit Hilfe der dem Herrn Prof. Dr. Pollak zur Verfügung stehenden maschinellen Einrichtungen untersucht werden könnten.

Herr Prof. Dr. Pollak hat die erbetene Analyse in entgegenkommenster Weise durchführen lassen und mir schließlich die Auswertung der Reihen für die Versuchswellen 3 bis 36 (siehe (7) bzw. (8)) freundlichst übersendet.

Herr Prof. Dr. Pollak ließ weiterhin in seinem Institut die Summenreihen der maschinellen Auswertung in die von ihm eingeführten Drucksorten eintragen, so daß ich schließlich zur Aufstellung der Periodogramme nur mehr die in den Drucksorten notwendigen Multiplikationen, unter Verwendung der in den „Rechentafeln" (8) und dem „Handweiser zur harmonischen Analyse" (7) enthaltenen Rechenvorschriften auszuführen hatte.

An Hand der drei Periodogramme und der zugehörigen Expektanzen (siehe (9) und (10)) zeigte sich, daß für kurzperiodische Glieder (mit Amplituden größer als $0'',05$) in den drei Reihen keine Aussicht auf wirkliches Vorhandensein besteht, welche Tatsache durch das nachfolgende Periodogramm der Strichfehler näher erläutert sei.

Periodogramm der Strichfehler.

| Versuchswelle | Amplitude 0″,001 | Phase ° | Versuchswelle | Amplitude 0″,001 | Phase ° |
|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 11 | 271,7 | 17 | 45 | 248,3 |
| 4 | 3 | 27,5 | 18 | 28 | 54,4 |
| 5 | 8 | 10,0 | 19 | 38 | 193,9 |
| 6 | 4 | 285,3 | 20 | 12 | 328,4 |
| 7 | 5 | 206,3 | 21 | 37 | 152,0 |
| 8 | 10 | 171,8 | 22 | 46 | 228,2 |
| 9 | 6 | 285,2 | 23 | 30 | 301,3 |
| 10 | 34 | 342,1 | 24 | 15 | 59,9 |
| 11 | 6 | 191,1 | 25 | 27 | 142,9 |
| 12 | 31 | 117,3 | 26 | 33 | 177,8 |
| 13 | 28 | 295,9 | 27 | 40 | 192,5 |
| 14 | 10 | 198,2 | 28 | 49 | 206,7 |
| 15 | 50 | 39,2 | 29 | 57 | 222,2 |
| 16 | 61 | 149,8 | 30 | 63 | 241,4 |

Die hier verzeichneten Amplituden geben den Mittelwert 28,14 und mit dieser Expektanz erhält man für die Versuchswellen 16 bzw. 30 (größte Amplituden 0″,061 bzw. 0″,063), welch letztere Versuchswelle mit unserem sechsten Glied der Reihe $S$ zusammenfällt, die Werte $\varkappa_{16} = 2{,}17$, $\varkappa_{30} = 2{,}27$. Das Bestehen der Versuchsperioden 16 bzw. 30 läßt sich daher nicht mit genügender Sicherheit behaupten.

Abschließend sei festgestellt:

Die untersuchte selbsttätige Teilmaschine der Firma G. Heyde in Dresden stellt eine Hochleistung deutscher feinmechanischer Arbeit dar.

Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse bekräftigen die hohe Genauigkeit der Heydeschen Teilmaschinen. Den praktisch augenfälligsten Beweis bildet hierfür die Tatsache, daß die namhaftesten deutschen bzw. ausländischen Firmen, wie etwa Askania-Werke, Breithaupt, Hildebrand, Zeiss bzw. Kern, Wild zur Herstellung ihrer Kreisteilungen Heydesche Maschinen in Verwendung haben.

Der Hilfskreis, welcher im Institut der Neuhöfer & Sohn, A.-G. in Wien auf dieser Maschine geteilt wurde, entspricht neuzeitlichen Anforderungen vollauf und ist als sehr gut zu bezeichnen.

## Schriftenverzeichnis.

1. Hk. J. Heuvelink, Die Prüfung der Kreisteilungen von Theodoliten und Universalinstrumenten. *Diese Zeitschr.* ***45.*** *S. 70—84. 1925.*
2. H. Wild, Der neue Theodolit. *Schweiz. Zeitschr. f. Vermessungsw. u. Kulturtechnik.* 1925. (S. a. *diese Zeitschr.* ***45.*** *S. 353—358; S. 585—586. 1925.*
3. G. Förster, Kreisteilungsuntersuchungen. Veröffentl. d. Königl. Preuß. Geod. Inst., N. F. Nr. 74. (Referat in *dieser Zeitschr.* ***42.*** *S. 377—379. 1922.*)
4. G. Förster, Untersuchung einer automatischen Kreisteilmaschine für sexagesimale Teilung der Firma O. Fennel Söhne in Kassel. Veröffentl. d. Königl. Preuß. Geod. Inst., N. F. Nr. 85. (S. a. *diese Zeitschr.* ***46.*** *S. 204—208. 1926.*)
5. G. Förster, Untersuchung einer automatischen Kreisteilmaschine für zentesimale Teilung der Firma O. Fennel Söhne in Kassel. Veröffentl. d. Königl. Preuß. Geod. Inst., N. F. Nr. 91. (Referat in *dieser Zeitschr.* ***43.*** *S. 330. 1923.*)
6. F. Ackerl, Untersuchung über die Genauigkeit des harmonischen Analysators von Dr. O. Mader. (*Diese Zeitschr.* ***48.*** *S. 375—380. 1928.*)
7. Leo W. Pollak, Handweiser zur harmonischen Analyse, Prager geophysikalische Studien II, herausgeg. v. Statist. Staatsamt, Prag 1928.
8. Leo W. Pollak, Rechentafeln zur harmonischen Analyse, Leipzig 1926, Johann Ambrosius Barth. (Besprechung in *dieser Zeitschr.* ***45.*** *S. 591—592. 1925.*)
9. Leo W. Pollak, Das Periodogramm der Polbewegung. *Gerlands Beiträge zur Geophysik.* ***16.*** *S. 108—194. 1927.*
10. K. Mader, Ausgleichsrechnung, in Handbuch der Physik von H. Geiger u. K. Scheel, Bd. III. Kap. 13, S. 540.

# Ein neues selbstreduzierendes Tachymeter. (Dreibild-Tachymeter.)

Von
**R. Hugershoff** in Dresden.

Als selbstreduzierende Tachymeter können — im Sinne der in der Vermessungspraxis allgemein anerkannten Definition[1] — nur solche Theodolite bezeichnet werden, mit denen man horizontale Entfernungen und Höhenunterschiede allein aus Lattenablesungen, also ohne Benutzung von Höhenwinkeln, erhält. So gehört also der Bosshardt-Zeissische Tachymeter-Theodolit[2] (Doppelbild-Tachymeter) nicht in die Gruppe der selbstreduzierenden Tachymeter, da er nur die horizontale Entfernung automatisch liefert. — Während bei den Doppelbild-Tachymetern ganz allgemein die Streckenmessung an waagerechter Latte erfolgt, wird bei den eigentlichen selbstreduzierenden Tachymetern (soweit sie überhaupt eine Meßlatte am Zielpunkt verwenden) stets eine vertikale[3] (oder wenigstens in der Vertikalebene durch die Zielrichtung aufgestellte)[4] Meßlatte benutzt.

Es sind mehrere Konstruktionen solcher selbstreduzierender Tachymeter bekannt geworden; sie lassen sich in zwei Gruppen einteilen, nämlich in mechanisch und optisch reduzierende Instrumente, von denen die letzteren, deren bekanntester Typ der von E. Hammer[5] angegebene, von O. Fennel Söhne in Kassel und neuerdings auch von F. W. Breithaupt in Kassel gebaute Theodolit ist, den besonderen Vorzug haben, daß zur Ermittlung von Entfernung und Höhenunterschied keine besonderen Einstellungen am Instrument vorzunehmen sind. — Die Lattenablesung erfolgt bei der Hammer-Fennelschen Konstruktion bekanntlich an in der Bildebene des Fernrohrobjektives abgebildeten Kurven, deren Ordinaten sich aus den tachymetrischen Beziehungen

$$E = \frac{1}{\omega} \cdot l \cdot \cos^2 \nu \qquad 1)$$

$$h = \frac{1}{\omega} \cdot l \cdot \frac{1}{2} \sin 2\,\nu \qquad 2)$$

ergeben, worin $E$ bzw. $h$ die gesuchte Horizontal- bzw. Vertikalprojektion des unter $\nu^0$ geneigten Zielstrahles, $l$ der zwischen zwei Fäden (Kurven) abzulesende Abschnitt einer vertikalen Meßlatte und $\omega$ ein (in analytischem Maß ausgedrückter) konstanter (Vertikal-) Winkel, der sog. mikrometrische Winkel ist.

---

[1] Jordan-Eggert, Handbuch der Vermessungskunde, Bd. II, 1914, S. 73 ff.

[2] Bosshardt, R., Das neue Reduktions-Tachymeter. *Schweiz. Zeitschr. f. Vermw. 1926.*

[3] Die vertikale Latte dürfte in der praktischen Tachymetrie der horizontalen Latte unbedingt vorzuziehen sein wegen ihrer bequemen Aufstellbarkeit (auf Hängen, schmalen Wegen, auf bewachsenem Boden, an Hauskanten) und in der sicheren Kontrolle ihrer richtigen Stellung. Über die Schwierigkeit der Aufstellung horizontaler Latten vgl. H. Schmaßmann, Die Verwendung der Polarkoordinatenmethode bei der Grundbuchvermessung der Stadtgemeinde Liestal, *Schweiz. Zeitschr. f. Vermw. 1930,* mit der charakteristischen Abbildung *S. 136.* — Dem bei Verwendung einer vertikalen Latte theoretisch stärkeren Fehlereinfluß der Refraktion wird im allgemeinen eine zu große Bedeutung beigelegt; das Wirksamwerden dieses Einflusses setzt jedenfalls eine völlig ungestörte Lagerung der bodennahen Luftschichten voraus; im übrigen dürften die in dieser Beziehung möglichen Vorzüge der horizontalen Latte aufgehoben werden durch die Fehlerquelle, die in ihrer schwierigen Winkelrechtstellung zur Ziellinie liegt; vgl. hierzu z. B. Jüttner, G., Über die bei optischen Distanzmessungen mittels Bosshardt-Zeiss auftretenden Fehler unter besonderer Berücksichtigung der Refraktion, Ratibor 1928.

[4] Fennel, O., Die Wagner-Fennelschen Tachymeter, Stuttgart 1904.

[5] Hammer, E., Der Hammer-Fennelsche Tachymeter-Theodolit, *Diese Zeitschr.* **22.** *S. 21—26. 1902*; Schewior, G., Der Tachymeter Hammer-Fennel, Kassel 1930.

Gewisse Nachteile der Hammerschen Konstruktion ergeben sich allerdings aus der mangelhaften Beleuchtung des Meßdiagramms beim Arbeiten unter einem Schirm oder unter Bäumen, aus der Notwendigkeit zur Einstellung bzw. Ablesung der Latte an drei verschiedenen Ablesekurven und aus der durch das Diagrammbild bedingten Einschränkung des Zielfeldes, durch die eine bei Polygonierung und Triangulierung erforderliche genaue Zieleinstellung erschwert wird. Die angeführten Nachteile werden durch die nachstehend beschriebene Einrichtung vermieden, bei der drei nebeneinander liegende fest verbundene Fernrohre verwendet werden, in deren gemeinsamem Gesichtsfeld die Ablesung der gesuchten Größen $E$ und $h$ unmittelbar an einem (horizontalen) Faden erfolgt. Zur Erzielung dieses Effektes sind vor zweien der drei Fernrohre je ein Paar von Keilen mit genau gleich großen Ablenkungswinkeln so an-

Abb. 1.

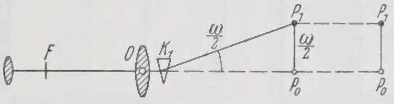



Abb. 2.

geordnet, daß bei waagerechter Zielung des Fernrohres die brechenden Kanten beider Keile des einen Paares horizontal und des anderen Paares vertikal liegen. Einer der Keile steht fest; der zweite Keil jedes Paares aber wird bei geneigter Zielachse um den doppelten Neigungswinkel des Fernrohres gedreht.

Die hierbei auftretenden Ablenkungen der Zielstrahlen zeigen Abb. 1 bis 4. In Abb. 1 ist schematisch der Längsschnitt durch ein Fernrohr dargestellt, dessen Ziellinie $FO$ auf einen Punkt $P_0$ zeigt, dessen Abstand von $O$ die Streckeneinheit sei. Setzt man vor das Objektiv $O$ des Fernrohres einen Keil $K_1$ mit wagerechter brechender Kante (Abb. 2) und dem Ablenkungswinkel $\omega/_2$, so wird ein Punkt $P_1$ an der Ziel-

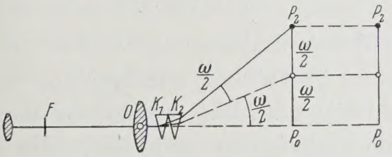



Abb. 3.

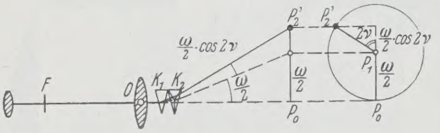



Abb. 4.

marke $F$ erscheinen, der um $\omega/_2$ vertikal über $P_0$ liegt. Durch Vorsetzen eines weiteren Keiles $K_2$ (Abb. 3) mit dem gleichen Ablenkungswinkel und ebenfalls wagerechter brechender Kante kommt ein ebenfalls senkrecht über $P_0$ im Abstand $\omega/_2 + \omega/_2$ liegender Punkt $P_2$ zur Abbildung an der Zielmarke $F$. Dreht man jetzt diesen zweiten Keil um den Winkel $2\nu$, so wird — vergl. den Seitenriß in Abb. 4 — ein Punkt $P_2'$ an der Zielmarke erscheinen, der mit $P_2$ auf einem Kreis um $P_1$ mit dem Halbmesser $\omega/_2$ liegt. Die vertikale Ablenkungsdifferenz zwischen $P_2'$ und $P_0$ ist

$$\omega' = \omega/_2 + \omega/_2 \cdot \cos_2 2\nu = \omega/_2 \ (1 + \cos 2\nu) = \omega \cdot \cos^2\nu. \qquad 3)$$

Die Reduktionseinrichtung bewirkt also in dieser Anordnung eine Verkleinerung des mikrometrischen Winkels. Verwendet man nun in Gleichung 1) an Stelle eines konstanten mikrometrischen Winkels den aus der Beziehung 3) folgenden, mit der Neigung $\nu$ des Zielstrahles variablen Wert $\omega'$, so folgt

$$E = \frac{1}{\omega \cdot \cos^2\nu} \cdot l \cdot \cos^2\nu = \frac{1}{\omega} \cdot l,$$

oder, mit $\omega = {}^1/_{100}$

$$E = 100 \cdot l. \qquad 4)$$

Die seitliche Abweichung des Punktes $P_2'$ (vgl. Seitenriß in der Abb. 4) von der Vertikalen ergibt sich unmittelbar aus der Abb. 4 zu

$$\omega'' = \omega/_2 \cdot \sin 2\nu. \tag{5}$$

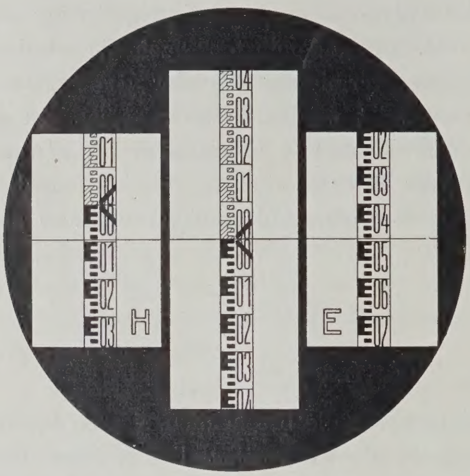



Abb. 5. Ablesung: $h = +9{,}2$ m, $E = 49{,}3$ m.

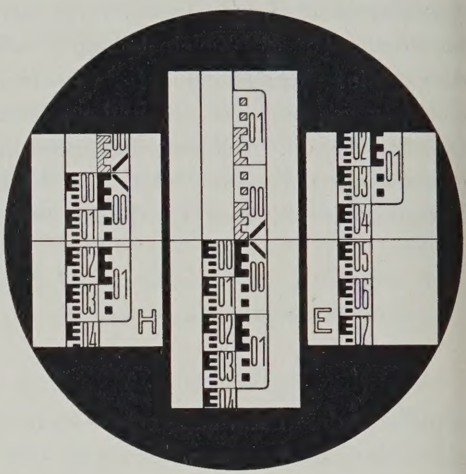



Abb. 6. Ablesung: $h = +9{,}2$ m, $E = 49{,}3$ m.

Die seitliche Abweichung wird zu einer vertikalen Abweichung, wenn man sich das Keilpaar um $90^0$ gedreht denkt. Verwendet man also in der Gleichung 2) an Stelle des konstanten Wertes $\omega$ den aus der Gleichung 5) erhaltenen vergrößerten Wert $\omega''$, so ergibt sich auch hier unmittelbar

$$h = 100 \cdot l. \tag{6}$$

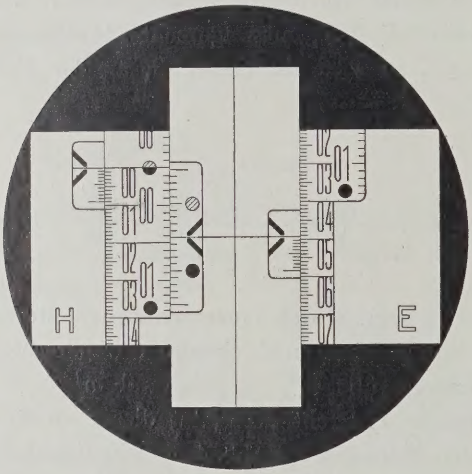



Abb. 7. Ablesung: $h = +9{,}2$ m, $E = 49{,}3$ m.

Die Verdrehung der beiden vor den seitlichen Fernrohren angebrachten beweglichen Keile geschieht zwangläufig dadurch, daß die Dreheinrichtung in bekannter Weise in Verbindung gebracht wird mit einem am Kippachsenlager fest angebrachten Kegelradpaar.

Die Ablesung des Lattenabschnittes $l$ erfolgt zweckmäßig an einer Latte, die von einem in etwa 1,40 m (Instrumentenhöhe) über dem Fußpunkt der Latte angebrachten „Nullpunkt“[1] aus nach oben und unten beziffert ist. Der Horizontalfaden des Dreibildtachymeters wird auf den Nullpunkt des mittleren der drei Lattenbilder eingestellt, das vom Objektiv ohne Vorsatzkeile (also bei gradliniger Visur) entworfen wurde. Hiernach sind am gleichen Horizontalfaden, aber an den beiden seitlichen, vertikal verschobenen Lattenbildern die gesuchten Größen $E$ und $h$ unmittelbar abzulesen (Abb. 5).

Zur Erzielung einer bei der Bestimmung von $h$ erwünschten größeren Genauigkeit

[1] Die Meßlatte besitzt einen verstellbaren Fuß, so daß die Höhe des Nullpunktes über dem Boden (Zielhöhe $z$) auf die jeweilige Instrumentenhöhe $i$ (zwischen den Grenzen 1,30 m und 1,60 m) gebracht werden kann. Damit entfällt die sonst an der abgelesenen Höhendifferenz $h$ anzubringende Korrektion $i - z$.

kann man für die Keile des zur Höhenmessung bestimmten Fernrohres als Ablenkungswinkel $\omega/_2$ den Wert 1:50 wählen und die Latte mit einer (zweckmäßig seitlich und umklappbar anzubringenden) Sonderteilung mit Doppelzentimeter als Teilungseinheit verwenden (Abb. 6). Die seitlich entstehenden Bilder lassen sich gegebenenfalls durch eine besondere Einrichtung (s. unten) mit dem Mittelbild an den für diesen Fall entsprechend ausgebildeten Trennungskanten der Gesichtsfelder zur Koinzidenz bringen, so daß jetzt also der Nullstrich der im Mittelfeld eingestellten Latte als Index für die Ablesung der vertikal verschobenen Lattenbilder dienen kann. In diesem Falle, in dem also der horizontale Ablesefaden in den Seitenfeldern wegfällt, läßt sich eine weitere wesentliche Genauigkeitssteigerung der Lattenablesung erzielen durch Verwendung von seitlich an der Latte angebrachten, ebenfalls umklappbaren Nonien (s. Abb. 7). Die Messung der $^1/_{10}$ mm an der Latte kann hier in bekannter Weise durch optische Verschiebung des Nonius mittels einer Planplatte vor dem Mittelfernrohr vorgenommen werden.

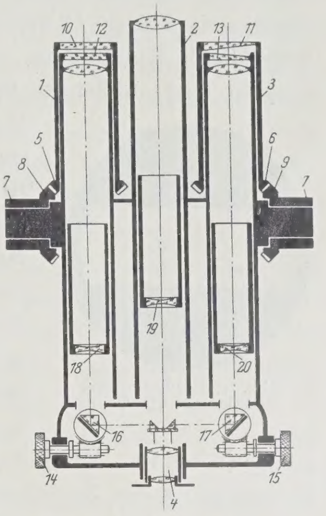


Abb. 8. Schnitt durch die drei Ziellinien.

Bei Verwendung des Instruments für Präzisionstachymetrie ist zu beachten, daß sich die gemessenen Entfernungen und Höhenunterschiede (ähnlich wie bei den ebenfalls mit Keilen ausgerüsteten Doppelbild-Tachymetern) auf die jeweilige Lage des Mittelpunktes des mittleren Objektives bzw. des Mittelpunktes der Doppelkeile beziehen. Die geringen, zur Reduktion der Ablesungen auf die Lage der Kippachse des Instruments erforderlichen Korrekturen können gegebenenfalls an einer Hilfsskala abgelesen werden, die an der Kippachse des Instruments angebracht ist. — Über die mit dem vorliegenden Instrument erzielbare sehr beachtliche Genauigkeit wird in Kürze von anderer Seite berichtet werden.

Einige konstruktive Einzelheiten des Dreibildfernrohres zeigt Abb. 8 in einem schematischen Schnitt durch die drei optischen Achsen. Das gemeinsame Gesichtsfeld der Fernrohre *1*, *2* und *3* wird durch das Okular *4* betrachtet. Das mittlere Fernrohr *2* der drei Fernrohre dient zur unmittelbaren Einstellung der Meßlatte, mit deren Nullpunktder waagerechte Zielfaden durch entsprechende Neigung des Fernrohres zur Deckung gebracht wird. Bei dieser Neigungseinstellung wälzen sich die in Zylinderform die Körper der Fernrohre *1* und *3* umgebenden Kegelräder *5* und *6* auf den fest (aber justierbar) am Fernrohrbock *7* angebrachten Kegelrädern *8* und *9* ab. Die zylindrischen Kegelräder *5* und *6* drehen sich

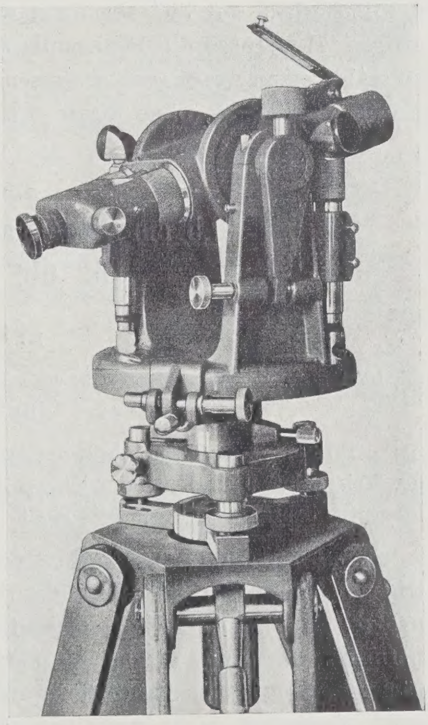


Abb. 9.

bei einer Neigung $\nu$ der fest verbundenen Fernrohre um den Winkel $2\nu$, mit den Ziellinien der Fernrohre *1* bzw. *3* als Rotationsachsen. Mit den rotierenden Zylindern sind fest verbunden die Keile *10* bzw. *11*, die sich somit gegen die fest am Fernrohr angebrachten Keile *12* und *13* der angegebenen Bedingung entsprechend verdrehen. Infolge dieser Keildrehung verschieben sich nun die in den seitlichen Fernrohren erzeugten Lattenbilder im vertikalen Sinne und zwar so, daß die am horizontalen Zielfaden, mit dem im Mittelfernrohr *2* der Lattennullpunkt eingestellt wurde, abzulesende Lattenbezifferung unmittelbar die Horizontal- bzw. die Vertikalprojektion der Zielstrahlenlänge angibt. — Die Drehung der Keile erzeugt neben der für die Messung verwendeten vertikalen Lattenverschiebung auch eine seitliche Versetzung des Lattenbildes, die ohne Einfluß auf die Messungsergebnisse ist. Mittels der durch die Triebknöpfe *14* und *15* verschwenkbaren Spiegelprismen *16* und *17* können die seitlich versetzten Bilder dem im Mittelfernrohr entstandenen Lattenbild gegebenenfalls, wie erwähnt, bis zur Koinzidenz genähert werden. Die Scharfeinstellung aller drei Fernrohre erfolgt durch gemeinsame Verschiebung der Zwischenlinsen *18*, *19* und *20*.

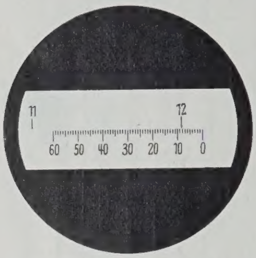


Abb. 10. Horizontalkreis-Ablesung: 12° 8′, 3.

Die drei Fernrohre der ersten Instrumente dieses Typs haben eine 18-fache Vergrößerung; ihr objektseitiges Gesichtsfeld beträgt in der Vertikalen 2°. Abb. 9 zeigt eine Gesamtansicht des von G. Heyde in Dresden gebauten Instrumentes, dessen Horizontalkreis mittels zweier Skalenmikroskope abgelesen wird. Der Kreis ist in ganze Grade geteilt, die Skala zeigt 60 Intervalle, so daß also die horizontalen Richtungen mit Sicherheit auf 30″ abgelesen werden können. Die Kreisablesung mit diesen neuartigen Heydeschen Skalenmikroskopen (s. Abb. 10) ist überraschend einfach und läßt Ablesefehler fast ausgeschlossen erscheinen. — Das Instrument wiegt, einschließlich eines Metallkoffers, ohne Stativ 7 kg.

---

# Der 27,5 cm-Hildebrand-Schraubenmikroskoptheodolit für die Haupttriangulation.

Von

**K. Lüdemann** in Freiberg.

(Mitteilung aus den Werkstätten für wissenschaftliche Präzisions-Instrumente von Max Hildebrand, früher August Lingke & Co., G. m. b. H. in Freiberg i. S.)

Inhalt: Es wird ein Abriß der Entwicklung der Methode der Horizontalwinkelmessung bei der Triangulation I. O. in den letzten Jahren gegeben und die heutige Gestalt eines dazu gebrauchten Schraubenmikroskoptheodolits beschrieben.

1. Die neuere Entwicklung der Methode der Lagewinkelmessung bei der Haupttriangulation I. O. ist durch die Verwendung selbstleuchtender punktförmiger Ziele und durch das Anschneiden dieser Signale durch wiederholte Messung bei feststehendem Fernrohr mit dem Okularmikrometer gekennzeichnet. Körperliche, im Fernrohrbild flächenhaft erscheinende Ziele werden nur noch in Ausnahmefällen, im Hauptnetz wohl überhaupt nicht mehr, angezielt. An die Stelle des Heliotrops ist, auch bei Tage, vielfach die Zielbezeichnung durch ein Leuchtgerät mit elektrischem, Kalk- oder anderem Licht getreten. Damit ist die Möglichkeit gegeben, die Messung in die Nacht zu verlegen und den Einfluß der Seitenrefraktion herabzumindern.

2. Die Verwendung von Lampen zur Zielbezeichnung bei Tage und in der Nacht ist alt. So berichtet, um dieses klassische Beispiel zu erwähnen, C. Fr. Gauß am 4. X. 1820 aus Altona an W. Olbers [1 S. 41][1] von Versuchen mit „Argandschen Lampen mit Reverberes" (Lampen mit Brennern mit doppeltem Luftzug und parabolischen Spiegeln) und fügt für den Fall, daß sich seine Hoffnungen aus weiteren Erprobungen erfüllen, hinzu: „... so hätte ich große Lust, bei meiner ganzen künftigen Triangulation keine anderen Signale als solche Lampen bei Tage zu gebrauchen. Sie geben allemal weit bessere Zielpunkte ab als die Signalthürme; mit dem nächtlichen Gebrauche sind aber theils große Unbequemlichkeiten verknüpft, theils würde auch die Fadenbeleuchtung Schwierigkeiten machen". Bei J. G. Repsold in Hamburg und, als dieser ihn warten läßt, bei Körner in Jena bestellt er parabolische Reverberes. „Repsolds Reverbere thut gute Wirkung"; die beiden von Körner befriedigten aber recht wenig, so daß Gauß am 10. VI. 1821 an Olbers schreibt: „Mein Muth, viel Gebrauch von dieser Manier zu machen, ist sehr gesunken" [1 S. 107]. Er kann sich aber zu Nachtbeobachtungen nicht entschließen, trotzdem v. Müffling „immer sehr" dazu rät [1 S. 62], denn er sieht dabei „viele sehr große Inkonvenienzen" [1 S. 53] und „große Bedenklichkeiten" [1 S. 105].

Alle diese Erwägungen wurden bekanntlich hinfällig durch die Konstruktion des Heliotrops, zu der Gauß bereits 1818 bei seinen Winkelmessungen in Lüneburg dadurch angeregt wurde, daß er „in der Entfernung von 6 Meilen das zufällig von einem Sonnenstrahl getroffene Fenster des obersten Kabinets im Michaelisturm in Hamburg als einen überaus glänzenden Lichtpunkt sah" [1 S. 47]. Tatsächlich lieferten die ersten Überlegungen und Konstruktionen einer „Art von portativem Heliostat" in ihrer Weiterbildung ein Instrument, von dem ein so „sehr vorteilhafter Gebrauch gemacht werden" konnte, daß es bis in die Gegenwart von höchster Bedeutung geblieben ist, „der Geodäsie einen unvergänglichen Nutzen gebracht hat" [2 S. 161] und mit dem Namen von Gauß auf das Engste verbunden blieb, obwohl die Formen des Heliotrops [2 S. 150—161], die C. F. Gauß ihm gab, längst überholt worden sind.

3. Sehr bekannt geworden ist die Benutzung von elektrischem Licht bei den Nachtbeobachtungen der Verbindungstriangulation zwischen Algier und Spanien mit sehr großen Seiten und Sichten bis zu 270 km Länge, die zu guten Ergebnissen führte, nachdem Heliotrope mit Spiegeln von 30 cm Seitenlänge nicht ausgereicht hatten [3, 4].

Die Erfindung des Heliotrops durch C. F. Gauß hat auf dem Festland die Nachtbeobachtungen und damit die selbstleuchtenden Zielzeichen für lange Zeit zurückgedrängt. Allerdings haben immer wieder Geodäten sich mit dieser wichtigen Frage beschäftigt und auf Grund umfangreicher Untersuchungen darauf hingewiesen, daß, wie der französische Oberst Perrier in den siebziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts ausführte, „die Nachtbeobachtungen eine Genauigkeit besitzen, die mindestens gleich, wenn nicht größer ist, als diejenige der Tagesbeobachtungen, und daß deshalb die Nachtbeobachtungen in die praktische Geodäsie einzuführen sind" [5 S. 229]. Einen interessanten Bericht über diese Versuche hat W. Werner [5] 1883 erstattet. Immerhin konnte C. Reinhertz [6 S. 19] noch 1906 mit Recht sagen: „Zur Sichtbarmachung dient bei Triangulierung I. Ordnung zurzeit fast ausschließlich das Heliotrop".

4. Von beachtenswerter Bedeutung für die Entwicklung der Methodik ist die neue, unter der Leitung von J. Bonsdorff stehende Finnische Triangulation [7, 8, 9], die aus drei Meridional- und aus drei Querketten bestehen wird. Die südliche Quer-

---

[1] S. das Schriftenverzeichnis am Schluß.

kette, die sog. Südfinnische Triangulation, ist als Doppelkette angelegt, bei der für alle Dreieckspunkte die astronomische Länge und Breite, das Azimut und die Schwerkraft bestimmt wurden. Die übrigen Triangulationen werden als einfache Ketten geführt. Beobachtet wurde und wird mit 27,5 cm-Universalinstrumenten und 27,5 cm-Theodoliten von M. Hildebrand G. m. b. H. in Freiberg i. S.

Über die angewendeten Beobachtungsmethoden berichtet J. Bonsdorff [7 S. 23] Folgendes:

„Da die Heliotrope nur kurze Zeit vor Sonnenuntergang beobachtet werden können und außerdem die Abendbewölkung besonders in den Schären sehr groß ist, wurden auch Nachtbeobachtungen mit künstlichem Lichte ausgeführt. Schon die ersten Erfahrungen zeigten, daß die Nachtbeobachtungen die Messungen sehr beschleunigten und in bezug auf den zufälligen und systematischen Fehler nicht ungünstiger sind als die Heliotropbeobachtungen. Die ursprüngliche Absicht war, wenn möglich auf allen Punkten eine gleiche Anzahl Heliotrop- und Nachtlichtbeobachtungen auszuführen; tatsächlich wurde doch die Anzahl der letztgenannten auf den meisten Punkten gerade wegen der großen Abendbewölkung überwiegend groß. Die spätere Untersuchung hat gezeigt, daß keine nennenswerten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen vorhanden sind.

Schon eine kurze Erfahrung zeigte, daß scharfe und ruhige Bilder in den Gegenden unserer Triangulation außerordentlich selten sind. In 3 Jahren habe ich kaum 5 Abende mit einigermaßen tadellosen Bildern beobachten können. Da doch ein rasches Vorwärtskommen der Arbeit notwendig war, mußten auch solche Bilder beobachtet werden, die unter anderen Umständen sicher als unbrauchbar angesehen worden wären. Um auch unter solchen Umständen gute Resultate zu erzielen, schien es sehr ratsam, mit dem Okularmikrometer zu beobachten, denn auch größere Schwankungen der unruhigen Bilder können leicht dadurch unschädlich gemacht werden, daß die Mikrometerpointierungen in günstigen Momenten ausgeführt werden. Die spätere Bearbeitung hat auch gezeigt, daß die zufälligen Beobachtungsfehler, ebenso wie die systematischen Fehler ungeachtet der im Durchschnitt sehr schlechten Bilder, nicht groß sind.

Anfangs wurde an einigen Dreieckspunkten jeder Zielpunkt viermal mit dem beweglichen Faden pointiert, später auf Grund der erhaltenen Erfahrung nur dreimal."

Als Lichtwerfer wurden meist Kraftwagenlampen mit Karbidbehältern benutzt, die sich bewährt haben.

In der Ostfinnischen Kette wurde „bei klarem Wetter mit den Beobachtungen etwa drei Stunden vor Sonnenuntergang begonnen; bei bedecktem Himmel wurden die Lampen meistens schon etwas vor dem Sonnenuntergang angezündet" [9 S. 5].

Gemessen wurde in vollständigen Richtungssätzen derart, daß die Beobachtungen auf wenigstens zwei Abende verteilt wurden, um die Wirkung etwaiger Tagesanomalien auf die Ergebnisse abzuschwächen.

Um die geschilderte Methode der Messung der Lagewinkel durchführen zu können, sind die Instrumente mit Okularmikrometern und mit elektrischer Beleuchtung des Fernrohrgesichtsfeldes und der Meßstellen ausgerüstet.

Es sei noch erwähnt, daß nach der ausdrücklichen Feststellung von J. Bonsdorff [7 S. 91] zwischen den Heliotrop- und den Nachtbeobachtungen auch kein systematischer Unterschied vorhanden ist.

5. Vor rund 50 Jahren hat O. Schreiber, der damals Leiter der Trigonometrischen Abteilung der Preußischen Landesaufnahme war, wohl auf den hohen Wert des Heliotrops[1], aber doch auch auf die „Seltenheit und stets kurze Dauer der zum Gelingen guter Hauptdreiecks-Beobachtungen erforderlichen und fast allein von der Luftbeschaffenheit abhängigen Umstände" hingewiesen und es als wünschenswert bezeichnet, „daß die neuerdings (1877) von französischer Seite unternommenen Be-

---

[1] „Nach meinen Erfahrungen ist man aber bei einer ganz ohne Heliotropen beobachteten Richtung vor einem konstanten Fehler von mehreren Sekunden selten sicher" [10 S. 228].

mühungen, die seit Einführung der Heliotrope mißachteten nächtlichen Beobachtungen zu rehabilitieren, von Erfolg sein möchten".

Die Trigonometrische Abteilung der Preußischen Landesaufnahme, jetzt des Deutschen Reichsamtes für Landesaufnahme, hat aber noch lange am Heliotrop festgehalten [**12** S. 49]. Auch der Entwurf der Instrumenten-Vorschrift I. O. von 1907 [**13**] behandelt nur das Heliotrop. Aber 1919 weist Launhardt, der vormalige Chef der Trigonometrischen Abteilung, nachdem er auf die großen Schwierigkeiten der Arbeit mit dem Heliotrop aufmerksam gemacht hat, darauf hin [**14** S. 30], daß „Versuche, Zieleinrichtungen mit künstlichem Licht zu verwenden, bei der Abteilung noch nicht zu einem vollen Erfolg geführt haben", daß sie aber fortgesetzt werden sollen.

In den Nachkriegsjahren wandte sich die Trigonometrische Abteilung des Reichsamtes für Landesaufnahme energisch dem Gebrauch künstlicher Lichter als Ziele zu. Im Geschäftsjahr 1925/26 wurde die Reichweite der bislang elektrisch arbeitenden Leuchtgeräte durch Verwendung von Kalklicht, das durch ein Sauerstoff- und Azetylengemisch erzeugt wurde, gesteigert. „Die Nachtbeobachtungen hatten infolgedessen besseren Erfolg, als in den Vorjahren; etwa ²/₃ sämtlicher Winkelmessungen wurden bei Nacht ausgeführt. Irgendein systematischer Unterschied zwischen den Ergebnissen der Tages- und Nachtbeobachtungen hat sich nicht feststellen lassen" [**15** S. 58]. Der 27,5 cm-Theodolit, der zu diesen Messungen benutzt wurde, war mit elektrischer Beleuchtung versehen worden. „Vom Okularmikrometer, bei dessen Verwendung sich die Einstellungsdauer eines Zieles beträchtlich verlängert, wurde nur wenig Gebrauch gemacht, weil ausschließlich auf hohen Holzsignalen beobachtet wurde" [**15** S. 58].

Im Jahr 1926 wurde das Leuchten mit Kalklicht am Tage weitgehend angewendet, da die Lichter meist besser einzustellen waren als die Heliotroplichter und da die Tagesbeobachtungen sich als recht einträglich erwiesen. Von 412 Sätzen des Oberschlesischen Grenznetzes wurden beobachtet:

am Tage 42% nach Heliotroplicht,
55% nach künstlichem Licht;
nachts 3% nach künstlichem Licht [**16** S. 53].

Im Märkisch-Schlesischen Hauptdreiecksnetz wurden von 504 Sätzen beobachtet:

am Tage 49% nach Heliotroplicht,
9% nach künstlichem Licht;
nachts 42% nach künstlichem Licht.

Elektrisches Licht wurde nachts bei Sichten unter 40 km, im übrigen nur als Aushilfe bei Versagen des Kalklichtes benutzt, das bei Tage bei bedecktem Himmel Sichten bis 64 km Länge „fast frei von den Einflüssen der Seitenrefraktion", bei Nacht bis 72 km zu nehmen erlaubte.

Das Jahr 1927 förderte die Entwicklung im Märkisch-Schlesischen Hauptdreiecksnetz weiter. Es heißt darüber im Jahresbericht des Reichsamtes für Landesaufnahme [**17** S. 47]:

„das künstliche Licht, namentlich das Kalklicht, hat sich bei Nacht und bei Tage, in diesem Jahr bei meist langen Sichten, wieder außerordentlich bewährt. Auf Schneeberg gelang es sogar, bei Tage das Kalklicht der 98 km entfernten Schneekoppe einzumessen, obgleich auf dem Schneeberge und in seiner weiteren Umgebung die Sonne schien. Von sämtlichen Beobachtungen wurden 55% bei Nacht, 14% nach künstlichem Licht bei Tage und nur 31% nach Heliotroplicht ausgeführt. Durch Verwendung der künstlichen Zielbeleuchtung ist die Arbeitsleistung um mehr als 200% gesteigert worden."

Und vom Gebrauch des Okularmikrometers wird gesagt [17 S. 48]:

„Das Okularmikrometer wurde in diesem Jahr häufiger benutzt. Unruhige und im gewöhnlichen Verfahren schwer oder gar nicht einstellbare Lichter ergaben brauchbare Messungen, wenn aus vier oder acht schnell hintereinander ausgeführten Mikrometerbeobachtungen das Mittel angenommen wurde".

Im Jahre 1928 wurde mit 354 Sätzen, von denen 54% nach künstlichem Licht und zwar meist bei Tage gemessen wurden, die Beobachtung des Märkisch-Schlesischen Hauptdreiecksnetzes beendet. Die erzielte Genauigkeit ergibt sich aus der nachstehenden vergleichenden Zusammenstellung des mittleren Fehlers einer beobachteten (auf der Station ausgeglichenen) Richtung I. Ordnung.

$m_s$ aus Stationsausgleichung,

$m_\Delta$ aus Dreieckswidersprüchen (internat. Formel),

$m_N$ aus Netzausgleichung (ohne Zwang),

$$v = \sqrt{m_N^2 - m_s^2} = \text{mittl. Netzrichtungsfehler.}$$

| Netz | Zeit | $m_s$ | $m_\Delta$ | $m_N$ | $v$ | Zielbeleuchtung |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Westpr. Hauptdr.-Netz | 1900—1904 | 0",17 | 0",17 | 0",33 | 0",28 | Heliotrop |
| Ostpr. Hauptdr.-Netz . | 1904—1908 | 0",16 | 0",19 | 0",26 | 0",20 | „ |
| Verbindungskette Berlin-Schubin . . . . | 1908—1914 | 0",15 | 0",18 | 0",24 | 0",19 | „ |
| Märkisch-Schles. Hauptdreiecks-Netz . | 1922—1928 | 0",15 | 0",15 | 0",18 | 0",10 | Heliotrop, sowie künstliches Licht bei Tage und bei Nacht. |

Das Reichsamt bemerkt hierzu [18 S. 78]:

„Der Vergleich zeigt nicht nur eine fast stetige Zunahme der inneren Genauigkeit, sondern — was wichtiger ist — auch ein ständiges Abnehmen des mittleren Netzrichtungsfehlers $v$, der sich aus dem Unterschied des m. F. aus den Stationsausgleichungen und aus der Netzausgleichung ergibt. Während das Verhältnis $m_s : m_N$ 1900—1904 noch 1 : 1,9 beträgt, ist es 1922—1928 auf 1 : 1,2 zurückgegangen. Wenn der hier zutage tretende systematische Fehler, wie es wahrscheinlich ist[1] von seitlicher Strahlenbrechung herrührt, so hat diese Fehlerursache beim Märkisch-Schlesischen Hauptdreiecksnetz am wenigsten eingewirkt. Hier wurde nun zum erstenmal nicht nur bei Sonne nach Heliotrop, sondern auch bei bedecktem Himmel nach künstlichem Licht, sowie nachts, also unter sehr verschiedenartigen meteorologischen Verhältnissen, beobachtet. Es scheint dadurch also gelungen zu sein, einen Teil des zufälligen Refraktionseinflusses auszuschalten. Vielleicht sind hierbei auch klimatische Unterschiede des Binnen- und Küstenlandes von Einfluß gewesen".

Die Erfahrungen des Reichsamtes für Landesaufnahme sind für die Entwicklung der Methodik von wertvoller Bedeutung.

6. Ein zur Messung der Horizontalwinkel im Dreiecksnetz I. O. geeigneter Theodolit muß der veränderten Methode angepaßt sein. Der bekannte 27,5 cm-Schraubenmikroskop-Theodolit der Hildebrand-Werkstätten wird daher seit einer Reihe von Jahren so ausgeführt, wie er im Nachstehenden beschrieben abgebildet ist.

Der verdeckte, verdrehbare und zentrisch sicher und spannungsfrei feststellbare Grund- (Horizontal-) Kreis trägt eine Silberteilung von 27,5 cm Durchmesser mit der Teilungseinheit $^1/_{12}{}^0 = 5'$ oder $^1/_{15}{}^0 = 4'$ (zentesimal $^1/_{10}{}^g$) und eine Aufsucheteilung auf $1^0$ bzw. $1^g$, die an einem Zeigerstrich abgelesen wird.

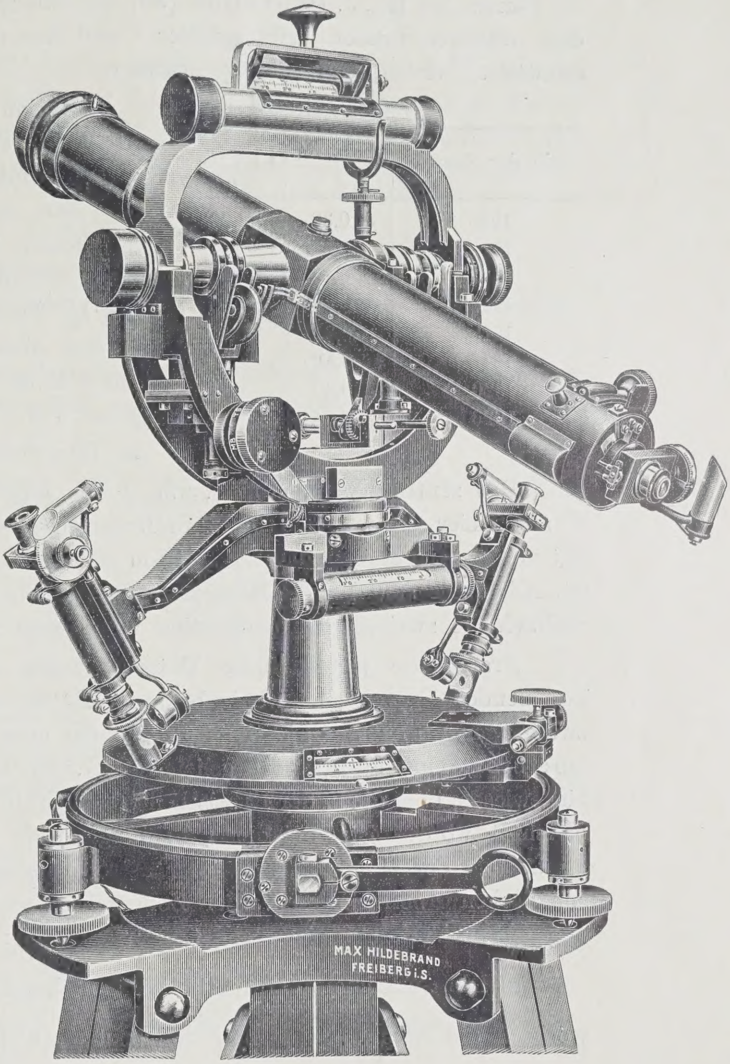
---

[1] „Beitrag zur Theorie der Seitenrefraktion" von G. Förster, (*Gerlands Beitr. z. Geophys.* **11.** *S. 468. 1912.*), sowie „Systematische Fehler in geodätischen Netzen" von G. Förster und G. Schütz (*Veröff. d. Pr. Geod. Inst., N. F. Nr. 101, S. 5.*).

Zur Kennzeichnung der Teilungsgenauigkeit sei ein Urteil von J. Bonsdorff angeführt, der aus den mit dem 27,5 cm-Hildebrand-Universal Nr. 53467 ausgeführten Winkelmessungen folgende Teilungsfehlerverbesserungen ableitete [7 S. 19—20]:

Verbesserung.

| Teilung | 1920 | 1922 | Mittel |
|---|---|---|---|
| 0° — 15° | + 0″,09 | + 0″,05 | + 0″,07 |
| 15 — 30 | − 0″,05 | − 0″,15 | − 0″,10 |
| 30 — 45 | − 0″,17 | − 0″,19 | − 0″,18 |
| 45 — 60 | − 0″,25 | − 0″,11 | − 0″,18 |
| 60 — 75 | − 0″,23 | − 0″,12 | − 0″,17 |
| 75 — 90 | − 0″,15 | − 0″,17 | − 0″,16 |
| 90 — 105 | − 0″,04 | − 0″,05 | − 0″,05 |
| 105 — 120 | + 0″,06 | + 0″,21 | + 0″,14 |
| 120 — 135 | + 0″,18 | + 0″,06 | + 0″,12 |
| 135 — 150 | + 0″,24 | + 0″,14 | + 0″,19 |
| 150 — 165 | + 0″,30 | + 0″,31 | + 0″,30 |
| 165 — 180 | + 0″,20 | + 0″,05 | + 0″,12 |




„Die Verbesserungen zeigen eine regelmäßige Periode mit der doppelten Amplitude von etwa 0″,5, und Maximum in 60°. Wenn diese Periode durch Mittelbildung von je 2 90° voneinander abstehenden Diametern eliminiert wird, bleiben noch folgende kleine Reste der Teilungsfehlerverbesserungen nach:

| | |
|---|---|
| $^1/_2$( 0° − 15°) + $^1/_2$( 90° − 105°) | + 0″,01 |
| $^1/_2$(15 − 30 ) + $^1/_2$(105 − 120 ) | + 0″,02 |
| $^1/_2$(30 − 45 ) + $^1/_2$(120 − 135 ) | − 0″,03 |
| $^1/_2$(45 − 60 ) + $^1/_2$(135 − 150 ) | 0″,00 |
| $^1/_2$(60 − 75 ) + $^1/_2$(150 − 165 ) | + 0″,06 |
| $^1/_2$(75 − 90 ) + $^1/_2$(165 − 180 ) | − 0″,02 |

Dieses Resultat muß als sehr befriedigend angesehen werden und beweist die Vorzüglichkeit der Hildebrandschen Teilung.“

Für den mittleren zufälligen Teilungsfehler in einem Durchmesser bestimmte J. Bonsdorff folgende Werte:

| | | | |
|---|---|---|---|
| bei dem | 27,5 cm-Hildebrand-Universal | Nr. 53467 | ± 0″, 30 |
| „ „ | 27,5 cm-Hildebrand-Theodolit | Nr. 53639 | ± 0″, 35 |
| „ „ | 27,5 cm- „ - „ | Nr. 53637 | ± 0″, 19 |

Im Jahre 1912 hat G. Förster [19] einen ähnlichen Kreis mit der Teilungseinheit 5′ untersucht, dessen Werkstoff sich als sehr homogen[1] erwies, so daß ein Einfluß von

[1] Die Hildebrand-Werkstätten wenden schon seit längerer Zeit bei den Kreisen für größere Theodolite und Universalinstrumente die Grobstrukturuntersuchung durch Röntgenstrahlen an, so

Temperaturunterschieden auf die Durchmesserverbesserungen nicht sicher nachweisbar war. G. Förster fand als Mittelwert der zufälligen Durchmesserkorrektionen $\pm 0'',30$, als Mittelwert des zufälligen Teiles einer Strichkorrektion $\pm 0'',23$.

Ferner hat Hk. J. Heuvelink [20] für eine große Anzahl von feinen Kreisteilungen den mittleren totalen Teilungsfehler $\tau$ und den mittleren zufälligen Teilungsfehler $\tau'''$ ermittelt. Für 27,5 cm-Teilungen fand er:

| Jahr der Teilung | $\tau$ " | $\tau'''$ " |
|---|---|---|
| 1913 | ± 0,38 | ± 0,29 |
| 1913 | 0,59 | 0,23 |
| 1914 | 0,19 | 0,17 |
| 1914 | 0,47 | 0,31 |
| 1915 | 0,31 | 0,19 |
| 1915 | 0,53 | 0,24 |
| 1920 | 0,40 | 0,23 |
| 1920 | 0,54 | 0,14 |

Der mittlere unregelmäßige, in einem Durchmesser wirksame Teilungsfehler liegt also zwischen $\pm 0'',14$ und $0'',35$, im Mittel beträgt er $\pm 0'',24$.

Die mit Hildebrand-Mikrometerkästen versehenen Schraubenmikroskope haben in der Regel 2 Fadenpaare und die Trommeleinheit 1". Bei $^1/_{12}{}^0$ Teilungseinheit und 2,5 $R$ (Umdrehungen) ist der Abstand der Fadenpaare 2 $R$, bei $^1/_{15}{}^0$ und 2 $R$ ist er 1,5 $R$. Bei zentesimaler Teilung geben 2 $R$ 5" oder, weniger zweckmäßig, 5 $R$ 1" als Trommeleinheit.

Das zentrisch angeordnete, um $\pm 45^0$ kippbare Fernrohr hat ein Objektiv von 65 mm freier Öffnung und 650 mm Brennweite, das entweder als zweiteiliges Objektiv mit vermindertem sekundären Spektrum oder als dreiteiliger Halbapochromat ausgebildet ist. Allerdings sind bei der letztgenannten Ausführung zwei Elemente verkittet, so daß vielfach die zweiteilige Konstruktion vorgezogen wird.

Brauchbare physikalische Untersuchungen von Objektiven der hier in Frage kommenden Größen sind wenig bekannt. Es sei daher auf eine russische Prüfung des zweiteiligen normalen Objektives 65/650 mm eines im Jahre 1925 an die Russische Oberste Vermessungsstelle gelieferten 27,5 cm-Theodolits (M. Hildebrand Nr. 62774) hingewiesen, über die in der Russischen Vorschrift für die Triangulation I. O. [**21** S. 45—52] berichtet worden ist. Bei dieser Prüfung wurde das von J. Hartmann [**22**] für die Ermittlung der Brennweite größerer astronomischer Objektive, der chromatischen und sphärischen Aberration bzw. der Zonenfehler und des Astigmatismus auf der Achse angegebene Verfahren angewendet. Es fand sich:

a) Die „maximale chromatische Längsaberration" (rote Lichtquelle) zu $\frac{1}{3445} F$[1], worin $F$ die Brennweite — hier von beiläufig 654,5 mm — bezeichnet. „Ein Objektiv, dessen chromatische Längsaberration kleiner ist als $\frac{1}{2000} F$, wird als genügend gut angesehen" [**21** S. 50];

b) Die „maximale sphärische Längsaberration" (weiße Lichtquelle) zu $\frac{1}{1488} F$. „Das Objektiv wird als genügend gut angesehen, dessen sphärische Aberration kleiner ist als $\frac{1}{1000} F$" [**21** S. 50];

daß die Homogenität des Kreiskörpers und des Silberstreifens gewährleistet und damit das Auftreten solcher Pseudoteilungsfehler, die durch Gefügemängel bestimmt sind bzw. hervorgerufen werden, ausgeschlossen ist.

[1] [**21** S. 50] steht richtig $\frac{0,19}{65,45}$, aber falsch ausgerechnet $= \frac{2}{3445}$ der Brennweite.

c) Die „maximale astigmatische Differenz“ (weiße Lichtquelle) zu $\frac{1}{4000}F$. „Das Objektiv wird als genügend gut angesehen, dessen astigmatische Differenz kleiner ist als $\frac{1}{3000}F$“ [**21** S. 51].

d) Schließlich wurde, um das Objektiv insgesamt durch seine „charakteristische Zahl“ zu kennzeichnen, die meist unter der Bezeichnung „Hartmannsche Kennzahl $T$“ bekannte „technische Konstante“ von H. Lehmann [**23** S. 108] errechnet; sie fand sich — nach den Ergebnissen für die sphärische Aberration nach dem grünen Lichtfilter — [**21** S. 52] zu

$$T = 1{,}14.$$

Das Objektiv ist also [**22** S. 47] als gut zu bezeichnen.

Der mittlere Durchmesser des geometrischen Zerstreuungsscheibchens beträgt 0,0075 mm oder 2″,35.

Zu dem mit Okularauszug versehenen Fernrohr gehören drei orthoskopische Okulare mit einem scheinbaren Gesichtsfeld von etwa 42⁰ mit folgenden optischen Abmessungen und Werten:

| Brennweite mm | Fernrohrvergrößerung | Austrittspupille mm | Relative Helligkeit | Wahres Gesichtsfeld ∅ |
|---|---|---|---|---|
| 15 | 43 | 1,5 | 2,25 | 0°,97 = 58′ |
| 11 | 59 | 1,1 | 1,2 | 0°,71 = 43′ |
| 9 | 72 | 0,9 | 0,8 | 0°,58 = 35′ |

Das Fadenkreuz zeigt in der Regel ein Paar vertikale Fäden und einen horizontalen Faden oder je ein Paar vertikale und horizontale Fäden.

Für sehr kurze Zielweiten werden drei Vorstecklinsen für den Meßbereich 5,5—2,8 m, 2,8—1,9 m und 1,9—1,5 m beigegeben.

Als Okularmikrometer mit einem beweglichen Fadenpaar wird in der Regel eine feste Konstruktion mit einem wahren Gesichtsfeld von ∼ 35′, seltener eine um 90° drehbare Anordnung mit ∼ 48′ Gesichtsfeld benutzt; der Wert einer Umdrehung der Meßschraube ist in beiden Fällen ∼ 80″.

Um die Umlegung des Fernrohres, besonders bei Nachtbeobachtungen zu erleichtern, ist eine einfach und bequem mit einem Hebel zu betätigende, sicher arbeitende Umlegevorrichtung vorhanden.

Daß die Lager der Fernrohrachse und die Vertikalachse — diese mit einer neuen Ringentlastung — ausreichend entlastet sind, ist eine Selbstverständlichkeit.

Es sind folgende drei Libellen vorgesehen: 1. Libelle am Bogenstück; Angabe 5″—6″; beziffert von 0—30. 2. Aufsatzlibelle mit Kammer, Glasschutzrohr und Ablesespiegel in völlig spannungsfreier Fassung[1]; Angabe 2″—3″; beziffert von 40—80. Der Körper der Aufsatzlibelle ist in einem Stück aus Leichtmetall hergestellt. 3. Auf einen Zapfen des Fernrohrbundes aufschraubbare Fernrohrlibelle[2]; Angabe 10″; beziffert von 80—100. — Durch die Wahl der Bezifferung ist es ausgeschlossen, daß Ablesungen an den einzelnen Libellen miteinander verwechselt werden können.

Besonderer Wert ist auf die in den Hildebrand-Werkstätten seit jeher [**26**]

[1] Die Konstruktion stellt eine Weiterbildung früherer Ausführungen [**24** S. 172—174; **25**] dar.

[2] Der Zapfen ist in der Abbildung zu sehen; die Libelle selbst ist nicht dargestellt.

gepflegte elektrische Beleuchtung gelegt worden; sie umfaßt bei zwangsläufiger Bedienung durch einen Hauptschalter nacheinander die Erleuchtung des Fernrohrgesichtsfeldes, der Teilungsflächen und der Trommeln der beiden Schraubenmikroskope und der Trommel des Okularmikrometers. Hierbei sind alle Drähte so eingebettet, daß sie die Arbeit am Instrument und das Umlegen nicht hindern und völlig betriebssicher gelagert und vor allem gegen Beschädigungen von außen geschützt sind. Für alle Fälle ist zur Erhellung des Fadenkreuzes eine Ölbeleuchtung vorgesehen.

Auf weitere Einzelheiten und auf die Ausrüstung des Instruments mit Zubehör- und Ergänzungsteilen brauche ich hier nicht näher einzugehen. Zu erwähnen ist nur noch, daß der Theodolit auch mit einem mit ihm in sicherer Verbindung stehenden beweglichen Versicherungsfernrohr (Objektiv meist 45 mm Öffnung und 430 mm Brennweite; Vergrößerung 40fach; festes Okularmikrometer; elektrische Beleuchtung des Fernrohrgesichtsfeldes und der Trommel des Okularmikrometers) ausgestattet werden kann. Das früher allgemein verbreitete Versicherungsfernrohr wird heute nur noch selten benutzt. Die russischen Geodäten glauben, darauf nicht verzichten zu können, da sie sehr oft auf sehr hohen hölzernen Pfeilern beobachten müssen. Nach einigen Untersuchungen der Trig. Abt. des Deutschen Reichsamtes für Landesaufnahme ist übrigens die Pfeilerdrehung in der Nacht von der gleichen Größenordnung wie die bei Tage. Nach den Beobachtungen des Finnischen Geodätischen Institutes in Helsingfors ist in dem feuchten Klima Finnlands die Pfeilerdrehung „merkwürdigerweise immer kleiner bei Sonnenschein (Heliotropbeobachtungen) als in der Nacht" [**9** S. 7]; sie verläuft aber sehr gleichmäßig. Die Richtung der Drehung ist nicht an die Laufrichtung der Sonne gebunden. Die beobachteten größten Beträge der Drehung, die stundenlang auftraten, sind auf den Punkten Kontu und Mustavaara der Ostfinnischen Kette zu $-0'',4$ und $+0'',45$ in der Minute festgestellt worden.

Über die gleichfalls bei der Haupttriangulation benutzten Universalinstrumente der Hildebrand-Werkstätten soll später berichtet werden.

## Angezogene Schriften.


1. C. Schilling, Wilhelm Olbers. Sein Leben und seine Werke. 2. Bd.: Briefwechsel zwischen Olbers und Gauß. 2. Abtlg. Berlin, 1909.
2. A. Galle, Über die geodätischen Arbeiten von Gauß. In Carl Friedrich Gauß Werke. XI. Bd. 2. Abtlg. Abhandlung 1. Berlin, 1924.
3. Gerke, Elektrisches Licht, benutzt zur geodätischen Signalgebung. *Zeitschr. f. Vermw.* ***10.*** *S. 185—186. 1881.*
4. Pattenhausen, Über die Ausdehnung des Meridians von Paris bis zur Sahara. *Zeitschr. f. Vermw.* ***10.*** *S. 247—257. 1881.*
5. W. Werner, Die Winkelmessungen bei Tage und bei Nacht. *Diese Zeitschr.* ***3.*** *S. 225—237. 1883.*
6. C. Reinhertz, Handbuch der Vermessungskunde von W. Jordan. 3. Bd. 5. Aufl. Stuttgart, 1907.
7. J. Bonsdorff, Die Beobachtungsergebnisse der Südfinnischen Triangulation in den Jahren 1920—1923. Helsinski, 1924. (Veröffentl. d. Finn. Geodät. Inst. Nr. 3.)
8. J. Bonsdorff, Die Beobachtungsergebnisse der Südfinnischen Triangulation in den Jahren 1924—1926. Helsinki 1927. (Veröffentl. d. Finn. Geodät. Inst. Nr. 7.)
9. J. Bonsdorff, Die Beobachtungsergebnisse der Triangulationen in den Jahren 1926—1928. Helsinki 1929. (Veröffentl. d. Finn. Geodät. Instit. Nr. 11.)
10. O. Schreiber, Über die Anordnung von Horizontalwinkel-Beobachtungen auf der Station. *Zeitschr. f. Vermw.* ***7.*** *S. 209—240. 1878.*
11. O. Schreiber, Richtungsbeobachtungen und Winkelbeobachtungen. *Zeitschr. f. Vermw.* ***8.*** *S. 97—149. 1879.*

12. E. Hegemann, Lehrbuch der Landesvermessung. Berlin, 1906.
13. Instrumenten-Vorschrift für die Behandlung, Prüfung und Berichtigung der Meß- und Hilfsinstrumente I. Ordnung (J. V. I. O.). Entwurf. Berlin, 1907.
14. Launhardt, Die Triangulation I. Ordnung. Einführung in die praktischen Arbeiten. Berlin 1919.
15. Jahresbericht des Reichsamtes für Landesaufnahme 1. 4. 1925 bis 31. 3. 1926. *Mitteil. d. Reichsamtes f. Landesaufn. 1926/27. S. 55—72.*
16. Jahresbericht des Reichamtes f. Landesaufn. 1. 4. 1926 bis 31. 3. 1927. *Mitteil. d. Reichsamtes f. Landesaufn. 1927/28. S. 49—64.*
17. Jahresbericht des Reichamtes f. Landesaufn. 1. 4. 1927 bis 31. 3. 1928. *Mitteil. d. Reichsamtes f. Landesaufn. 1928/29. S. 45—71.*
18. Jahresbericht des Reichsamtes f. Landesaufn. 1. 4. 1928 bis 31. 3. 1929. *Mitteil. d. Reichsamtes f. Landesaufn. 5. (1929/30). S. 76—100.*
19. G. Förster, Untersuchung zweier Teilkreise der Firmen G. Heyde und M. Hildebrand auf einem Wanschaffschen Teilkreisprüfer. *Diese Zeitschr.* ***33.*** *S. 10—19, 39—51. 1913.*
20. Hk. J. Heuvelink, Die Prüfung von Kreisteilungen von Theodoliten und Universalinstrumenten. *Diese Zeitschr.* ***45.*** *S. 70—84. 1925.*
21. Russische Vorschrift für die Triangulation·I. Ordnung. Moskau, 1928. (In russischer Sprache.)
22. J. Hartmann, Objektivuntersuchungen. *Diese Zeitschr.* ***24.*** *S. 1—21, 33—47, 97—117. 1904.*
23. H. Lehmann, Anwendung der Hartmannschen Methode der Zonenprüfung auf astronomische Objektive. *Diese Zeitschr.* ***22.*** *S. 103—109. 1902.*
24. K. Lüdemann, Über Libellenkonstruktionen, insbesondere über solche mit beweglichen Skalen. *Zeitschr. f. Vermw.* ***38.*** *S. 121—127, 145—152, 169—176. 1909.*
25. K. Lüdemann, Libellenfassung für Mikroskoptheodolite und Universale von M. Hildebrand in Freiberg i. Sa. *Diese Zeitschr.* ***29.*** *S. 316—317, 384. 1909.*
26. K. Lüdemann, Einige Mitteilungen über die Entwicklung der Beleuchtung von Meßstellen an geodätischen Vermessungsinstrumenten. *Diese Zeitschr.* ***44.*** *S. 33—43. 1924.*

---

# Über einige Neuerungen an Breithaupt-Instrumenten.

Von

**Dr. phil. G. Breithaupt** und **Dr. W. Uhink** in Kassel.

(Mitteilung aus den Werkstätten von F. W. Breithaupt und Sohn in Kassel.)

Die Nachkriegszeit mit ihrer erhöhten Forderung der Wirtschaftlichkeit im Gebrauch von Vermessungsinstrumenten hat zu durchgreifenden Änderungen und Neuschaffung älterer und zur Erzeugung ganz neuartiger Geräte geführt. In welcher Weise die Fabrik geodätischer Instrumente von F. W. Breithaupt und Sohn, Kassel, dieser Forderung gefolgt ist, soll, soweit es der beschränkte Raum erlaubt, hier zusammengefaßt werden.

## 1. Theodolite und Tachymeter.

Die Aufgabe, beide Kreise gemeinsam in einem einzigen Okular abzulesen, hat in den Jahren 1923/24 eine besonders einfache Lösung gefunden bei dem Präzisions-Tachymeter und Kataster-Theodolit, (*diese Zeitschr.* ***45.*** *S. 303—306. 1925.* Eggert, *Ber. über die Geodät. Woche Köln 1925, S. 177.*) und bei dem Steilschacht-Theodolit für Nachtragsmessungen (Abb. 1) (*diese Zeitschr.* ***45.*** *S. 120—138. 1925. Mitt. a. d. Markscheidewesen 1925, S. 126—138.*) Von jedem Kreis (H. und V.) wird durch schwenkbares Okular nur eine Kreisstelle betrachtet. (Abb. 2.)

Bei der heutigen genauen Kreiszentrierung mit neuzeitlichen Methoden liegt in der Ablesung nur einer Kreisstelle kein Nachteil, zumal bei genauen Messungen in beiden Fernrohrlagen etwaige Exzentrizitätsfehler von selbst herausfallen. Bei weniger

genauen Messungen spielt aber die vielleicht noch vorhandene geringe Exzentrizität überhaupt keine Rolle.

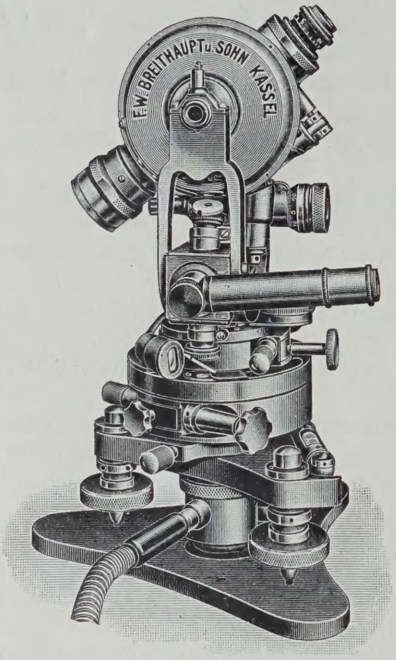



Abb. 1. Steilschacht-Theodolit.

Für die Ablesung aller vier Kreisstellen bei Nonientheodoliten ohne Standwechsel hat Breithaupt bereits im Jahre 1910 die in Abb. 3 dargestellten Prismenlupen eingeführt. (*Diese Zeitschr.* **31.** *S. 346—348. 1911.*) Abb. 3 A zeigt die Ablesung des Grundkreises.

Die optische Zentrierung der Theodolite über oder unter einem Festpunkt wurde 1923 wesentlich erleichtert durch die auf dem Fernrohr angebrachte und mit ihm durchschlagbare Zentriervorrichtung (D.R.P. Nr. 387948) (vgl. Abb. 4) (Eggert, *Geodät. Woche Köln 1925, S. 178*).

Diese hochwertige Einrichtung kann nicht nur den einfachen oder Doppel-Abloter nach Nagel ersetzen, sondern sie soll auch die Arbeit der mit solchen Ablotern vorausgeschickten Gehilfen nachprüfen und damit die Sicherheit der Messungen erhöhen.

Für Aufstellung der Theodolite und Signale in Gruben wurde ein neuer besonders gegen Durchbiegung geschützter Wandarm geschaffen. Die Abb. 5 zeigt auch noch die selbstleuchtenden Signale, die sowohl unter Tage, wie bei nächtlichen Stadtvermessungen in Verbindung mit der Breithaupt-Zwangszentrierung

Abb. 2. Gesichtsfeld.

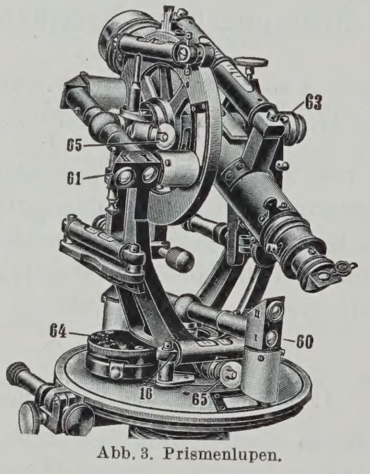



Abb. 3. Prismenlupen.

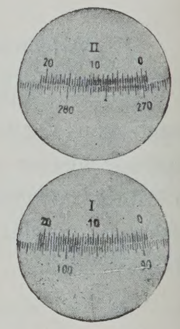


Abb. 3 A. Gesichtsfeld bei Nonientheodoliten ohne Standwechsel.

Verwendung finden. Hierüber machte kürzlich Prof. Dr. Harbert, Braunschweig, nähere Mitteilungen in *dieser Zeitschr.* **50.** *S. 173—179. 1930.*

Die von Puller und W. Breithaupt angegebenen, auf mechanischen Wege automatisch reduzierenden Tachymeter für senkrechte Lattenstellung, sind durch die seit 1903 bekannten auf optischem Wege selbstreduzierenden Tachymeter nach Hammer ergänzt worden. Bei diesen Tachymetern erscheinen bekanntlich in der einen Gesichtsfeldhälfte Diagrammkurven, die an der Latte solche Abschnitte abschneiden, deren 100- bzw. 20-faches die reduzierte (Horizontal-) Entfernung und den Höhenunterschied

darstellen (Abb. 6), vergleiche Schewior: Tachymeter Hammer-Fennel Kassel 1930. Die Neuerungen von Breithaupt bestanden in der Anbringung eines vollständigen Höhenkreises (vgl. Abb. 7), der das Instrument zu einem Universal-Theodolit ergänzt. Durch die Verwendung der stark verkürzten Fernrohre mit innerer Schaltlinse ist das Instrument nunmehr auf handliche Form gebracht worden. Mindestens in den

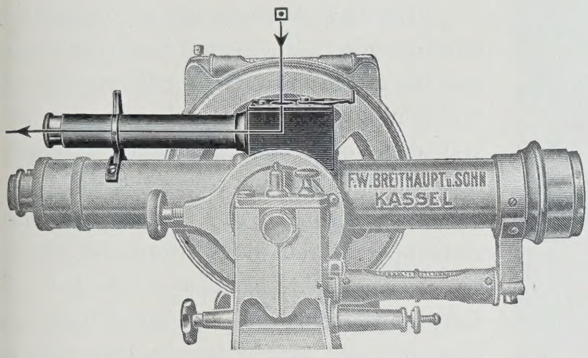


Abb. 4. Durchschlagbare Zentriervorrichtung.

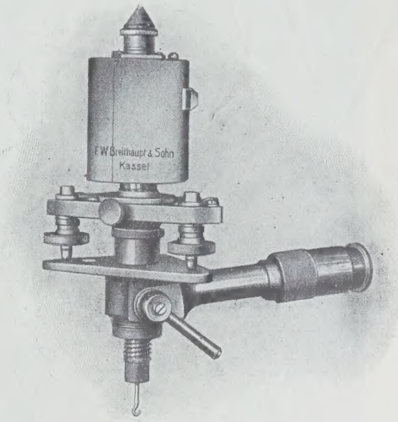


Abb. 5. Signal auf Wandarm.

Jahren 1923/24, in denen die Konstruktion entstand, war es noch nicht allgemein bekannt, daß es möglich ist, derartige Fernrohre als anallaktische Fernrohre (siehe Eggert, *Geodät. Woche Köln 1925, S. 181—182*) herzustellen. Gleichzeitig können an diesem Instrument eine Reihe von Neuerungen beschrieben werden, die jetzt bei allen Theodoliten der Firma F. W. Breithaupt & Sohn angebracht sind. Hierhin gehört die Einrichtung, den Trieb für die Fokussierlinse durch die Kippachse zu führen. Auf diese Weise

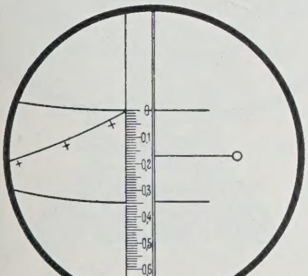


Abb. 6. Hammer-Diagramm.

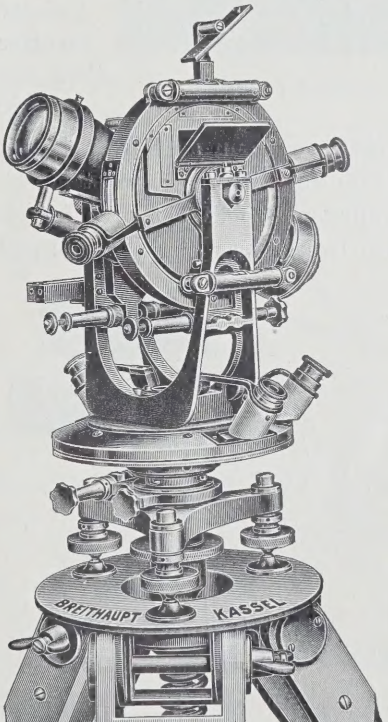


Abb. 7. Tachymeter mit Höhenkreis.

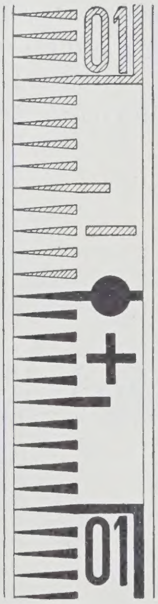


Abb. 8. Klapplatte mit Keilstrichen.

ist die Betätigung der Fokussierung selbst bei starken Fernrohrneigungen stets gleich bequem. Die Ableselupen sind mit Schneckengewinde versehen, so daß eine sanfte und

genaue Scharfstellung auf die Teilung möglich ist, gleichzeitig sind sie unverlierbar. Das Fernrohrokular ist ebenfalls mit Schneckengewinde und Dioptrienteilung versehen. Ein Spiegel über der Höhenkreislibelle, die Teilung des Höhenkreises auf der Kante und ein drittes Ablesefenster im Verdeck des Grundkreises mit dem Hilfsstrich zum Tachymetrieren ermöglichen alle Ablesungen von einem Standpunkt aus.

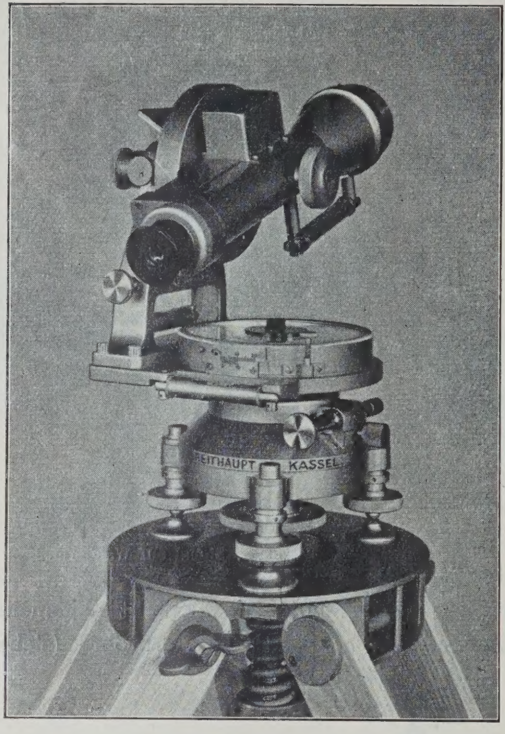



Abb. 9. Selbstreduzierende Bussole.

Die Lattenteilung der zu dem selbstreduzierenden Tachymeter Breithaupt gehörigen Klapplatte ist mit keilförmigen Strichen ausgeführt. Hierdurch wird einmal der Vorteil der Strichteilung gegenüber der Felderteilung erreicht, daß nämlich die Ablesungen nur in weißen Feldern stattfindet. Durch die Keilform der Striche ist es ermöglicht, sich außerdem für jede Lattenentfernung diejenige Strichdicke auszusuchen, die am besten zu den stets in gleicher Stärke erscheinenden Diagrammkurven paßt. (Abb. 8.)

Will man kein selbstreduzierendes Universal-Tachymeter, sondern ein einfacheres Instrument für Sonderzwecke benutzen, so wird man die selbstreduzierende Bussole Modell 1930 (vgl. Abb. 9) wählen. Der Fernrohrträger kann auch auf einem Lineal angebracht werden, so daß eine selbstreduzierende Kippregel entsteht.

Die Polarkoordinatenmethode hat neue Instrumente, die sogenannten Doppelbild-Tachymeter entstehen lassen. Das hierher gehörige Instrument der Firma F. W. Breit-

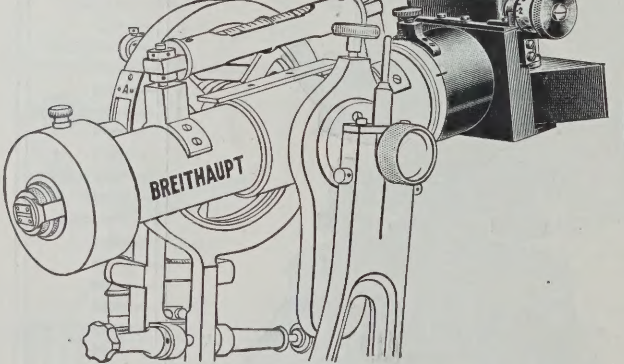



Abb. 10. Doppelbild-Tachymeter.

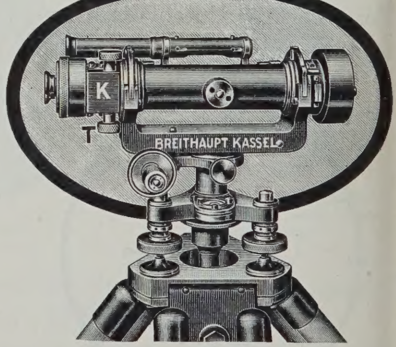



Abb. 11. Nivellier.

haupt & Sohn ist in *dieser Zeitschr.* ***49.*** *S. 581—595. 1929* (vgl. auch *Mitteil. a. d. Markscheidew. Heft 2, 1928*) eingehend beschrieben worden. Wir begnügen uns daher damit, hier auf die Abb. 10 hinzuweisen, die den abnehmbaren Doppelbildaufsatz zeigt.

## 2. Nivellier-Instrumente.

Für die Konstruktion der neueren Nivelliere der Firma F. W. Breithaupt & Sohn sind neben der Forderung nach möglichst handlichen Geräten Gesichtspunkte fabrikatorischer Art maßgebend gewesen.

Fast alle Instrumente sind so eingerichtet, daß sie ohne Schwierigkeit, auch noch nachträglich, mit einem Horizontalkreis ausgerüstet werden können, so daß sie im flachwelligen Gelände als Nivellier-Tachymeter verwendbar sind. Ist kein Kreis vorhanden, so gibt doch die runde Form des Dreifußes dem Nivellier eine besondere Festigkeit. Gleichzeitig sind die Klemme, die Seiten-Feinschraube und die Achse bestens geschützt. Daß ebenso, wie bei den Theodoliten, die Dreifußschrauben vollständig verdeckt und in ihrem Gang regulierbar sind, mag nebenbei erwähnt sein. (Abb. 11.)

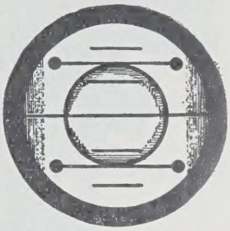


Abb. 12. Ablesung der Libellenblase.

Die Forderung, bei Nivellements stets ohne Standwechsel und unabhängig von einem besonderen Libellenableser die Libelle einzustellen oder abzulesen, hat zu einer besonderen Ablese-Einrichtung geführt. Die Abb. 12 zeigt das Bild der Blase, die mit einem Blick zu übersehen ist und die infolge der Vergrößerung des zum Fernrohr parallelen Ableserohres sehr scharf eingestellt werden kann. Durch diese Vergrößerung und durch die Parallaxenfreiheit, mit der durch das besondere optische System die Blase dem Auge in demselben Akkommodationszustand dargeboten wird, wie das Lattenbild im Fernrohr, ist eine wesentliche Verschärfung der Messungen gewährleistet.

Eine weitere Genauigkeitssteigerung bei Feinnivellements ist dadurch möglich, daß man die Schätzung der Zehntel der Lattenteilung durch eine Messung ersetzt Denn im allgemeinen bringen die unvermeidlichen Schätzungsfehler den größten Beitrag

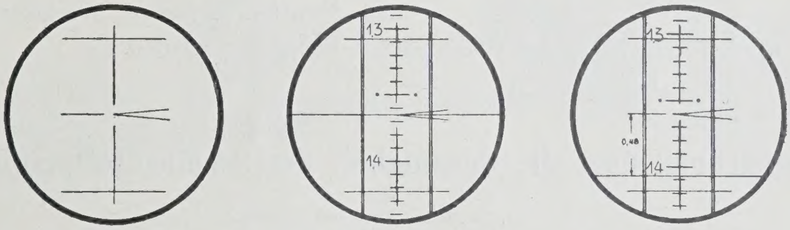



Abb. 13. Gesichtsfeld im Feinnivellier.

zum Abschlußfehler. Die von der Firma F. W. Breithaupt & Sohn angewandte Methode der Teilstricheinstellung bei einspielender Libelle beruht auf einer Kippung (nicht Parallelverschiebung) der Ziellinie mit Hilfe einer im Fernrohrinneren drehbar angeordneten Glasplatte. Das Prinzip ist von dem Erfinder der Einrichtung, Dipl.-Ing. Heckmann, Mannheim, in *dieser Zeitschr.* ***49.*** *S. 204—207. 1929* eingehend erläutert worden. Die Abb. 13 stellt die Art der Lattenablesung dar.

Hier mag noch eine kurze Zusammenstellung von Ergebnissen folgen, die mit einem solchen Nivellier von 30-facher Vergrößerung und einer Wendelibelle von ca. 15″ Angabe erreicht worden sind.

Aus drei verschiedenen Nivellements wurden aus je 40 Standpunktswidersprüchen der mittlere Fehler eines einmal gemessenen Höhenunterschiedes berechnet zu $\pm$ 0,15 mm bei 40 m Zielweite. Hieraus folgt ein mittlerer Kilometerfehler für die einmal gemessene Strecke von $\pm$ 0,53 mm. Man erkennt, daß es die Vorrichtung ermöglicht, die Zielgenauigkeit des Fernrohres voll auszunutzen.

### 3. Universale.

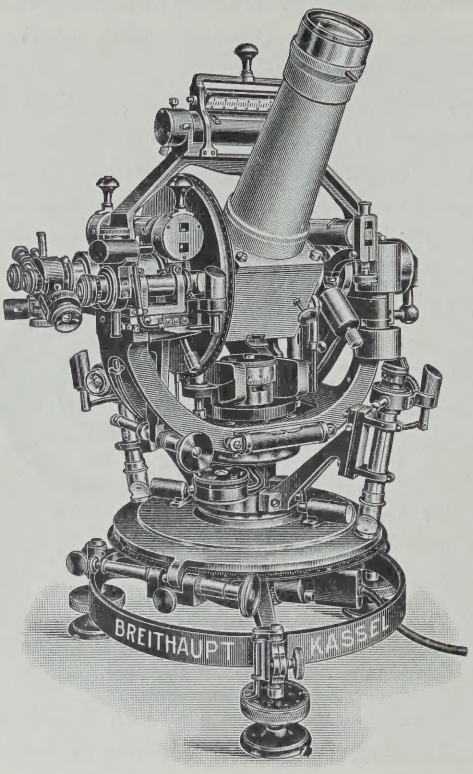



Abb. 14. Universal mit gebrochenem Fernrohr.

Zu astronomisch-geodätischen Arbeiten dient das mit Horrebow-Talcott-Niveau ausgerüstete Universal mit gebrochenem Fernrohr, das mit elektrischer Beleuchtung aller Ablesestellen und des Gesichtsfeldes versehen ist. (Vgl. Abb. 14.) Die Führung der Drähte ist fast vollständig in das Innere des Instrumentes verlegt, so daß keine herumhängenden Drähte stören. Nach denselben Grundsätzen wurde die schlagwettersichere Beleuchtung an Gruben-Theodoliten ausgeführt.

Vor wenigen Jahrzehnten konnte man fast glauben — was namentlich von der Kritik auf der letzten Pariser Weltausstellung 1900 beklagt wurde —, die Entwicklung der geodätischen Instrumente sei zum Stillstand gekommen. Einen neuen Anstoß hat die immer dringender werdende Forderung nach wirtschaftlicher Fertigung und nach zeitsparender Verwendung der Instrumente gegeben.

Weitere wichtige Neuerungen liegen in den Breithauptschen Werkstätten fertig vor und werden demnächst der Öffentlichkeit übergeben werden.

---

# Untersuchung über die Genauigkeit der Scheibenrollplanimeter.

Von

Dr.-Ing. **Karl Ulbrich** in Wien.

Über die Genauigkeit und Leistungsfähigkeit der verschiedensten Planimeter wurden schon eine große Zahl von Untersuchungen angestellt, die aber zum großen Teil in zweifacher Hinsicht für die Praxis unverwendbar sind. Erstens wurden die Fehler der Flächenbestimmungen zumeist durch Umfahrungen mittels eines Kontrollineales oder einer Probeplatte bestimmt und wurden dadurch außergewöhnlich klein[1]. Nach meiner Anschauung ist die Verwendung eines Kontrollineales nur zur Konstantenbestimmung des betreffenden Planimeters zu rechtfertigen. Es ergeben sich dabei die sogenannten inneren Fehler, die ja immer kleiner sind als die tatsächlich auftretenden Fehler. Bei Triangulierungen werden auch die Dreieckswidersprüche größer als die geringeren mittleren Fehler der Stationsausgleichungen erwarten lassen. Die alleinige Verwendung der bei Gebrauch von Kontrollinealen auftretenden mittleren Fehler zu Genauigkeitsuntersuchungen ist also zu verwerfen.

Eine zweite Fehlerquelle liegt in der freihändigen Umfahrung der zu planimetrierenden Flächen. Es wird zwar die Meinung vertreten, daß sich die positiven

[1] Die Planimeter Coradi. Zürich 1905. Tab. IX.

und negativen Fehler aller Wahrscheinlichkeit nach gegenseitig aufheben[1]. Meines Erachtens spielt aber die sogenannte persönliche Gleichung eines jeden Beobachters eine viel zu bedeutende Rolle, um eine so wichtige Fehlerquelle einfach mit der vorher gemachten Annahme abzutun. In der gesamten neuzeitlichen geodätischen Meßtechnik bemüht man sich, die Meßmethoden so anzuordnen, daß die persönlichen Gleichungen nach Tunlichkeit herausfallen. Die zwei bedeutsamsten Anordnungen sind bekanntlich das Arbeiten mit Koinzidenzen oder mit bisezierenden Einstellungen, wofür die menschlichen Sinne sehr empfindlich sind. Aber selbst für den Fall, daß sich die Umfahrungsfehler tatsächlich wegheben würden, ist es eine sehr ermüdende Aufgabe, den Fahrstift mit größter Aufmerksamkeit längs der Linien zu führen. Die Verwendung eines Lineales zur Führung des Fahrstiftes wird ja abgelehnt (s. Hartner-Doležal a. a. O.), da dies leicht zu konstanten Fehlern führen könnte. In den folgenden Zeilen wird gezeigt, wie es in Österreich gelungen ist, die Planimeter mit Erfolg für Katasterzwecke zu verwenden und welche Genauigkeit erzielt wurde.

Im Österreichischen Bundesvermessungsamte werden die Katasterpläne im Formate 625×500 mm kartiert, so daß die Sollfläche eines Blattes 31,25 dm² beträgt. Zur sicheren Bestimmung der Flächen der Einzelparzellen werden diese Katasterpläne durch kartierte Polygon- und Messungspunkte in 3 bis 6 zweckmäßig gewählte Gruppenpolygone geteilt, deren Flächen aus Koordinaten berechnet werden. Die Summe der Gruppenpolygone muß wieder die Fläche des Planes geben. In diese Gruppenpolygone werden dann die Einzelparzellen abgestimmt.

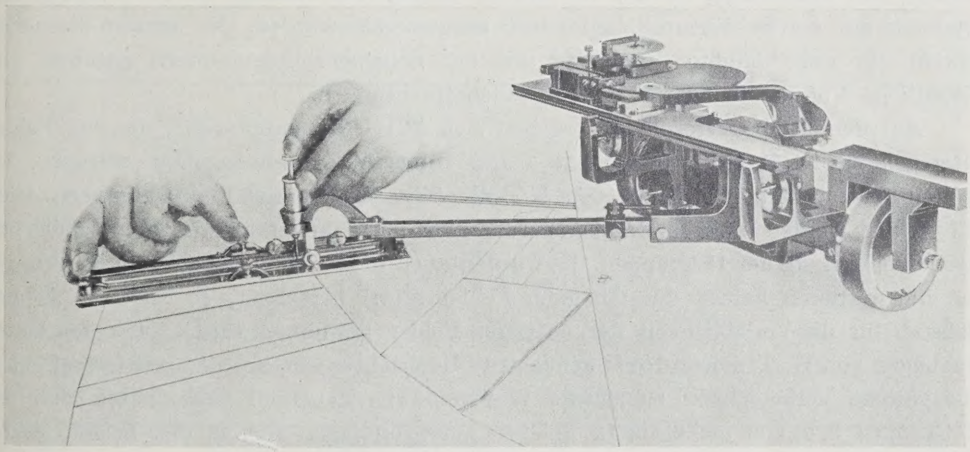


Abb. 1.

Um die Fläche größerer Parzellen und um die Fläche der Gruppenpolygone rasch und genau zu bestimmen, wurden vom Bundesvermessungsamte zwei Scheibenrollplanimeter von G. Coradi in Zürich angekauft. Diese beiden Instrumente tragen die Nummern 4470 und 4812.

Um die Fehler des freihändigen Umfahrens zu vermeiden, wurde von Hofrat Ing. E. Demmer ein eigener Schlitten[2] (Abb. 1) entworfen, der diese Fehler, wie sich in mehrjähriger Verwendung auch praktisch gezeigt hat, ganz vermeidet. Der Grundgedanke ist, daß im Führungsschlitten ein schmaler Spalt mit genau parallelen Seiten

[1] Hartner-Doležal, Niedere Geodäsie, 1. Band, 2. Teil, S. 1087.

[2] Ausgeführt von der Fa. Rost in Wien.

vorhanden ist, in dem die zu befahrende Linie bisezierend eingestellt wird, wofür das Auge bekanntlich überaus empfindlich ist. Der Schlitten wird jetzt durch zwei federnde feine Nadeln leicht am Papier befestigt und der Fahrstift des Planimeters wird mit der anderen Hand auf dem Schlitten mittels dreier Rädchen zwangsläufig längs der Linie zu deren Ende geführt. Jetzt wird der Fahrstift sanft in das Papier gedrückt, die federnden Nadeln des Schlittens werden freigegeben; der Schlitten kann jetzt unter dem festgestellten Fahrstift auf die anstoßende Linie neu eingestellt werden und die Arbeit wiederholt sich.

Eine Genauigkeitssteigerung ist eigentlich nicht so sehr das erste Ziel gewesen, sondern eher die ganz bedeutende geistige Entlastung des Beobachters, der jetzt nur mehr den Schlitten scharf einstellen muß, was keine besondere Mühe verursacht. Die Linie selbst wird durch die Schlittenführung zwangsläufig abgefahren und erst am Ende der Linie muß wieder ein genaues Absetzen erfolgen. Zur Kontrolle muß der Fahrstift auch einmal in der Mitte der Linie abgesetzt werden, um zu sehen, ob die Pike des Fahrstiftes genau auf der zu befahrenden Linie liegt. Ein weiterer Vorteil des Führungsschlittens liegt auch darin, daß die Ergebnisse ziemlich unabhängig davon sind, ob der Beobachter eine leichte, schwere oder gar ungeschickte Hand hat.

Zur Überprüfung der Genauigkeit der Scheibenrollplanimeter wurden alle 90 Katasterpläne, die in den letzten Jahren mit den Instrumenten planimetriert wurden, herangezogen. Der Vorgang der Flächenbestimmungen war zumeist so, daß in der Rechenabteilung die Flächen der Gruppenpolygone aus Koordinaten berechnet wurden und unabhängig davon, oft vorher schon, die Flächen in der Planimetrierabteilung mit den Scheibenrollplanimetern ausgemessen wurden. Es ist also die sichere Gewähr für unbeeinflußte Ergebnisse mit den Scheibenrollplanimetern gegeben, eine wesentliche Voraussetzung für Genauigkeitsbetrachtungen.

Auf den 90 Katasterplänen ergaben sich 361 Gruppenpolygone, die zur Fehleruntersuchung in 11 Gruppen von je 1 $dm^2$ Intervall zusammengefaßt wurden. Die wahren Fehler ergaben sich aus dem Koordinatensollwert minus Planimeterwert. Diese 361 Fehler werden zwecks Raumersparnis hier nicht angeführt, sondern gleich die Zusammenstellung der 11 Gruppen. Es wurden auch die mittleren Fehler der 11 Gruppen und die mittleren Fehler der mittleren Fehler $m(m)$ berechnet, so daß ein sicherer Maßstab für die Verläßlichkeit der mittleren Fehler gewonnen wird. Nach den Untersuchungen von W. Tischendorf[1] genügen 18 Beobachtungen, um den mittleren Fehlern eine gewisse Verläßlichkeit zu geben. Wie man aus Tabelle 1 sieht, haben von den 11 Gruppen 9 davon mehr als 18 Flächen zur Grundlage. Nur in den beiden letzten Gruppen waren je 16 Flächen zur Verfügung, sind also gerade noch ebenfalls zu Vergleichszwecken verwendbar. Es wurden sämtliche planimetrierte Flächen für diese Genauigkeitsuntersuchung herangezogen, ohne jede Ausscheidung irgendwelcher Resultate.

Die Tabelle 1 gibt eine Zusammenstellung aller Beobachtungsergebnisse. In der dritten Spalte sind die aus den Koordinaten gerechneten Flächen, also die Sollwerte enthalten. In der vierten und sechsten Spalte ist die Zahl der positiven und negativen Fehler der Planimeterwerte gegen die Sollwerte enthalten. Man ersieht, daß bei 361 Beobachtungen 178 positive und 183 negative Fehler vorhanden sind, ein Beweis, daß sicherlich keine systematisch wirkenden Fehler vorhanden sind. Es ist wirk-

---

[1] Studie zum mittleren Fehler des arithmetischen Mittels. *Österr. Zeitschr. f. Vermessungsw. 1927. S. 41.*

lich bemerkenswert, daß von verschiedenen Beobachtern mit verschiedenen Instrumenten in mehreren Jahren ein derartiger Ausgleich von positiven und negativen Fehlern unbewußt erzielt wurde. In Spalte 9 und 10 wurden nach bekannten Formeln die mittleren Fehler je einer Beobachtung berechnet und gleichzeitig auch die Unsicherheit der mittleren Fehler bestimmt. Schließlich wurden in der elften Spalte noch die relativen Fehler berechnet, wobei man sieht, daß die Angabe von relativen Fehlern oder das Prozentgesetz als gesetzliche Fehlergrenze, wie es heute noch vorkommt, unstatthaft ist, da die Fehlerprozente von der Größe der Fläche abhängig sind.

Schließlich habe ich noch den Versuch gemacht, die mittleren Fehler in eine einzige Gleichung zusammenzufassen. Nach den Untersuchungen von A. Pfitzer[1] stellt die Form $m_2 = \alpha F + \beta \sqrt{F}$ eine einfache und sehr günstige Formel für Fehleruntersuchungen bei Flächenbestimmungen dar. In der gleichen Zeitschrift hat O. Eggert[2] nachgewiesen, daß die Form $m_4 = \sqrt{\alpha F + \beta F^2}$ gleichwertig ist. Ich werde aber schon aus dem Grunde auch die erste Formel verwenden, da dieselbe in Österreich für gesetzliche Fehlergrenzen verwendet wird.

Tabelle 1.

| ich r pen $1^2$ | Zahl der Flächen $n$ | Durchschnittliche Größe der Flächen $F$ mm² | Zahl der positiven Fehler $n_1$ | $[+\varepsilon]$ mm² | Zahl der negativen Fehler $n_2$ | $[-\varepsilon]$ mm² | $[\varepsilon\varepsilon]$ | Mittlerer Fehler $m = \pm\sqrt{\frac{[\varepsilon\varepsilon]}{n}}$ mm² | Mittlerer Fehler des mittleren Fehlers $m(m) = \frac{0{,}7071}{n}\sqrt{[\varepsilon\varepsilon]}$ mm² | Relativer Fehler $r = \frac{m}{F}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| -2 | 23 | 1 55 10 | 11 | 145 | 12 | 132 | 56 65 | ± 15,7 | ± 2,3 | 1 : 988 |
| -3 | 29 | 2 54 15 | 12 | 267 | 17 | 389 | 2 20 76 | ± 27,6 | ± 3,6 | 1 : 921 |
| -4 | 47 | 3 60 19 | 24 | 692 | 23 | 410 | 3 95 78 | ± 29,0 | ± 3,0 | 1 : 1242 |
| -5 | 42 | 4 44 43 | 22 | 705 | 20 | 666 | 6 56 00 | ± 39,5 | ± 4,3 | 1 : 1125 |
| -6 | 41 | 5 63 73 | 22 | 758 | 19 | 639 | 6 57 99 | ± 40,1 | ± 4,4 | 1 : 1406 |
| -7 | 63 | 6 47 74 | 32 | 1093 | 31 | 1077 | 10 80 74 | ± 41,4 | ± 3,7 | 1 : 1564 |
| -8 | 36 | 7 36 76 | 19 | 730 | 17 | 618 | 8 30 70 | ± 48,0 | ± 5,7 | 1 : 1535 |
| -9 | 24 | 8 51 28 | 12 | 675 | 12 | 565 | 8 95 78 | ± 61,1 | ± 8,8 | 1 : 1393 |
| -10 | 24 | 9 46 66 | 12 | 721 | 12 | 483 | 9 17 94 | ± 61,8 | ± 8,9 | 1 : 1532 |
| -11 | 16 | 10 40 10 | 6 | 473 | 10 | 397 | 6 55 87 | ± 64,0 | ± 11,3 | 1 : 1625 |
| -12 | 16 | 11 46 78 | 6 | 234 | 10 | 731 | 9 39 61 | ± 76,6 | ± 13,5 | 1 : 1497 |
| | 361 . | | 178 | 6493 | 183 | 6107 | | | | |

Es wurde die Bezeichnung $m_2$ und $m_4$, wie in der Abhandlung von A. Pfitzer beibehalten. Um den verschiedenen Maßstabsverhältnissen auszuweichen, wurde im Maßstabe 1 : 1 mit 1 mm² als Flächeneinheit gearbeitet. Die meisten österreichischen, Katasterpläne sind im Maßstabe 1 : 1000 kartiert. Die in dieser Untersuchung gewonnenen Formeln lassen sich also mit den gleichen Koeffizienten verwenden, nur muß man sich als Flächeneinheit 1 m² denken.

Gleicht man die gegebene Fehlerreihe in der neunten Spalte nach vermittelnden

---

[1] Versuch zur Ermittlung einer möglichst günstigen Fehlerfunktion und Fehlergrenze für die Flächenbestimmungen einer neueren Katastermessung. *Zeitschr. f. Vermessungsw. 1921. S. 513 ff.*

[2] Die Fehlergrenzen für Flächenbestimmungen. *Zeitschr. f. Vermessungsw. 1921. S. 525 ff.*

Beobachtungen aus, so erhält man bei Verwendung der Formel $m_2 = \alpha F + \beta \sqrt{F}$ für die Koeffizienten $\alpha$ und $\beta$ folgende Werte:

$$\alpha = 0{,}00037 \pm 0{,}00008,$$
$$\beta = 0{,}089 \pm 0{,}020,$$
$$\underline{m_2 = 0{,}00037\,F \pm 0{,}089\,\sqrt{F}}.$$

Die bei Verwendung dieser Ausgleichsparabel übrigbleibenden Fehler tragen durchaus den Charakter zufälliger Fehler. Sie bewegen sich zwischen 0,5 und 5,1 mm², sind also kleiner als die Unsicherheiten der mittleren Fehler.

Als Fehlergrenze $\Delta F_2$ wird in der Praxis meist der dreifache mittlere Fehler verwendet. Dies entspricht nach der Tabelle im Jordan[1] einer Überschreitung dieser Fehlergrenze bei 370 Beobachtungen. Die Fehlergrenze nimmt folgende Form an:

$$\underline{\Delta F_2 = 0{,}00111\,F + 0{,}267\,\sqrt{F}}.$$

Um eine Vergleichsmöglichkeit zu geben, sei die österreichische Fehlergrenze für Neuvermessungen angeführt:

$$\Delta F = 0{,}001\,F + 0{,}200\,\sqrt{F}.$$

In der Tabelle 2 ist ein Vergleich der mittleren Planimeterfehler $m$ (Spalte 2) mit der österreichischen Fehlergrenze (Spalte 3) gemacht und deren Verhältnis in der vierten Spalte berechnet. Man ersieht daraus, daß die österreichische Fehlergrenze ungefähr dem 2,5 fachen mittleren Fehler entspricht, also eine enge Fehlergrenze darstellt. Nach Jordans Tabelle ist schon bei 81 Beobachtungen ein Überschreiten dieser Fehlergrenze wahrscheinlich.

Tabelle 2.

| $F$ mm² | Mittlerer Fehler beim Planimeter $m$ mm² | Österreichische Fehlergrenze | | Preußische Fehlergrenze | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | $\Delta F = 0{,}001\,F + 0{,}200\,\sqrt{F}$ mm² | $\frac{\Delta F}{m}$ | $\Delta F = \sqrt{0{,}60\,F + 0{,}0000020\,F^2}$ mm² | $\frac{\Delta F}{m}$ |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 55 10 | ± 15,7 | ± 40,4 | 2,6 | ± 98,9 | 6,3 |
| 2 54 15 | ± 27,6 | ± 57,3 | 2,1 | ± 128,6 | 4,7 |
| 3 60 19 | ± 29,0 | ± 73,9 | 2,5 | ± 155,6 | 5,4 |
| 4 44 43 | ± 39,5 | ± 86,6 | 2,2 | ± 175,0 | 4,4 |
| 5 63 73 | ± 40,1 | ± 103,9 | 2,6 | ± 200,4 | 5,0 |
| 6 47 74 | ± 41,4 | ± 115,8 | 2,8 | ± 217,4 | 5,2 |
| 7 36 76 | ± 48,0 | ± 128,0 | 2,7 | ± 234,7 | 4,9 |
| 8 51 28 | ± 61,1 | ± 143,5 | 2,4 | ± 256,1 | 4,2 |
| 9 46 66 | ± 61,8 | ± 156,2 | 2,5 | ± 273,4 | 4,4 |
| 10 40 10 | ± 64,0 | ± 168,2 | 2,6 | ± 289,9 | 4,5 |
| 11 46 78 | ± 76,6 | ± 182,4 | 2,4 | ± 308,4 | 4,0 |
| | | | Mittel 2,5 | | Mittel 4,8 |

Bei Verwendung der zweiten Formel $m_4 = \sqrt{\alpha F + \beta F^2}$ erhält man durch die Ausgleichung für die Koeffizienten $\alpha$ und $\beta$ folgende Werte:

$$\alpha = 0{,}0093 \pm 0{,}0026,$$
$$\beta = 0{,}00000034 \pm 0{,}00000006,$$
$$\underline{m_4 = \sqrt{0{,}0093\,F + 0{,}00000034\,F^2}}.$$

[1] Handbuch der Vermessungskunde, 1. Band, Anhang.

Auch die bei Verwendung dieser Ausgleichshyperbel auftretenden übrigbleibenden Fehler sind durchaus zufälliger Natur. Sie bewegen sich zwischen 0,1 und 6,5 mm², sind also ebenfalls kleiner als die Unsicherheit der mittleren Fehler.

Der dreifache mittlere Fehler $\varDelta F_4$ als Fehlergrenze ergibt:

$$\varDelta F_4 = \sqrt{0{,}084\ F + 0{,}0000031\ F^2}\,.$$

Als Vergleich kann hier die Preußische Fehlergrenze herangezogen werden, wobei sie, da in der amtlichen Formel die Fläche in Ar eingeführt sind, auf m² umgerechnet wurde.

$$\varDelta F = \sqrt{0{,}60\ F + 0{,}0000020\ F^2}\,.$$

Den Vergleich der vorstehenden preußischen Fehlergrenze (Spalte 5) mit den Planimeterfehlern (Spalte 2) gibt die sechste Spalte. Man ersieht daraus, daß die preußische Fehlergrenze ungefähr dem 4,8 fachen mittleren Fehler der Planimetermessungen entspricht. Sie ist also eine ganz außerordentlich weite Fehlergrenze.

Um zu erkennen, welche der beiden Kurven, Ausgleichsparabel oder Ausgleichshyperbel, den Vorzug verdient, wurden die Summen der Quadrate der Verbesserungen an den 11 Beobachtungsstellen gebildet und folgende Resultate erhalten:

Für die Parabel: $[vv] = 120$,

Für die Hyperbel: $[vv] = 141$.

Da die Quadratsumme für die Ausgleichsparabel kleiner ist, dürfte diese Kurve wohl den Vorzug verdienen. Auch die Betrachtung der Abb. 2 zeigt, daß sich die Parabel der Fehlerlinie wohl besser anschmiegt als die Hyperbel. Zu dem gleichen Ergebnisse ist übrigens auch A. Pfitzer gelangt.

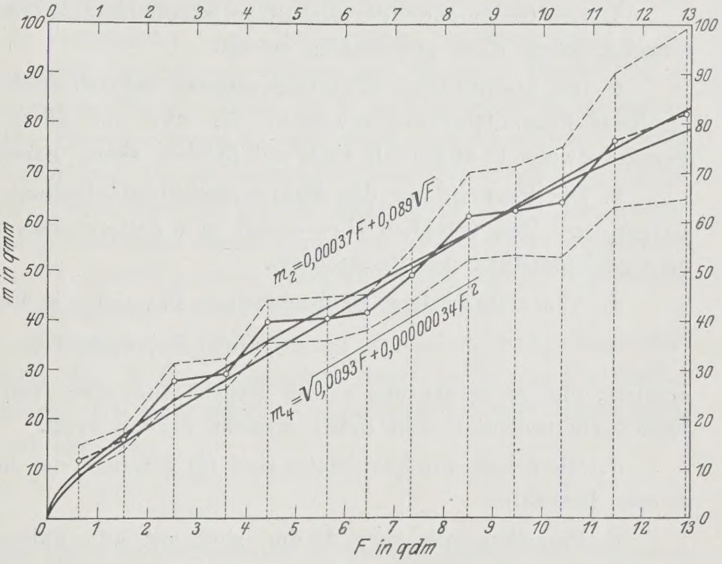



Abb. 2.

Schließlich gebe ich noch eine Gegenüberstellung der von Eggert umgerechneten Pfitzerschen Resultate für die mittleren Fehler $\mu$ der Flächenbestimmung auf gewöhnliche Weise und der mittleren Fehler $m$ bei Flächenbestimmung mit dem Scheibenrollplanimeter auf Grund meiner Untersuchungen.

Gewöhnliche Flächenbestimmung: $\mu_2 = 0{,}00036\ F + 0{,}159\sqrt{F}$
Scheibenrollplanimeter: $m_2 = 0{,}00037\ F + 0{,}089\sqrt{F}$ } Parabeln,

Gewöhnliche Flächenbestimmung: $\mu_4 = \sqrt{0{,}0696\ F + 0{,}00000021\ F^2}$
Scheibenrollplanimeter: $m_4 = \sqrt{0{,}0093\ F + 0{,}00000034\ F^2}$ } Hyperbeln.

Aus dieser Gegenüberstellung ersieht man, daß die Flächenermittlung mit dem Scheibenrollplanimeter genauer ist, da sie in beiden Formeln die kleineren mittleren Fehler ergibt. Nachdem die Untersuchungen Pfitzers auf Flächenermittlung beim

Kataster beruhen, ist also nachgewiesen, daß die Genauigkeit der Scheibenrollplanimeter für Katasterzwecke ausreichend ist.

Die Abb. 2 enthält die graphische Darstellung der Untersuchungsergebnisse aus Tabelle 1. Die Unsicherheit der mittleren Fehler $m(m)$ wurde gestrichelt eingezeichnet. Außerdem wurden an beiden Enden die Ergebnisse der anschließenden Intervalle gestrichelt eingetragen. Diese beiden Intervalle wurden rechnerisch für die Fehleruntersuchung nicht mehr verwendet, da zu wenig Flächen (je sieben Flächen) zur Verfügung standen, die Resultate also zu unsicher wären. Trotzdem fügen sich auch diese beiden Werte augenscheinlich in die Ausgleichung sehr gut ein.

Die Ausgleichsparabel und die Ausgleichshyperbel wurden stark eingezeichnet, wobei man sieht, daß die erste Kurve den Vorzug verdient.

Im folgenden gebe ich eine Zusammenstellung der in unserem Amte gemachten Erfahrungen mit den beiden Scheibenrollplanimetern, und eine Zusammenstellung der in dieser Untersuchung erhaltenen Ergebnisse über die gewiß überraschend hohe Genauigkeit dieser sinnreichen mathematischen Instrumente.

## Zusammenfassung.

1. Die Ratschläge, die G. Coradi in seiner schon erwähnten Schrift (S. 11) gibt, sind strenge zu beachten.

2. Ruckweises Umfahren ist zu vermeiden.

3. Die Genauigkeit der Resultate ist unabhängig von der Schnelligkeit der Umfahrung, sofern diese gleichmäßig erfolgt.

4. Der Demmersche Führungsschlitten hat sich nach verschiedenen Vorversuchen als beste Fahrstiftführung erwiesen. Er wird von allen Beobachtern immer wieder gerne verwendet; sicherlich auch ein Zeichen seiner Brauchbarkeit.

5. Die Verwendung des Führungsschlittens bedingt eine geringe Genauigkeitssteigerung. Hauptsächlich aber erzielt man Zeitersparnis und eine ganz beträchtliche geistige Entlastung des Beobachters.

6. Aus mehrjährigen Beobachtungen hat sich die Fehlerformel

$$m = 0{,}00037\,F + 0{,}089\,\sqrt{F}$$

ergeben, die bei Beachtung obiger Regeln von allen verschiedenen Beobachtern mit beiden Instrumenten sehr sicher erreicht werden kann.

7. Die Scheibenrollplanimeter sind für Flächen von mehr als 1 $dm^2$ für Katasterzwecke brauchbar.

8. Parzellen von über 10 $dm^2$ sind auf alle Fälle nach unseren Erfahrungen zu teilen.

9. Die von verschiedenen Autoren angegebenen Genauigkeitsmaße von $\frac{1}{2500} - \frac{1}{5000}$ sind entschieden zu günstig. Diese Werte könnten nur mit Kontrolllinealen erreicht werden. Bei sorgfältiger Arbeit werden in der Praxis bei Flächen von 5 bis 10 $dm^2$ ca. $\frac{1}{1500}$, bei Flächen von 1 bis 5 $dm^2$ ca. $\frac{1}{1000}$ sicher erreicht.

# Über den Einfluß des erdmagnetischen Feldes auf die Schwingungszeiten von Nickelstahlpendeln.

Von
**M. Rössiger** in Clausthal.

Die folgende Untersuchung beschäftigt sich mit einer Fehlerquelle bei Pendelmessungen, die bisher nicht beachtet bzw. für unwesentlich gehalten worden ist[1]. Bei der bekannten hohen Anfangspermeabilität der Eisen-Nickel-Legierungen war zu befürchten, daß Nickelstahlpendel von der bisherigen Linsenform wie auch die neuen Stabpendel[2] durch Induktion der Vertikalintensität ein relativ hohes magnetisches Moment erhalten, dessen Einfluß auf die Schwingungszeit berücksichtigt werden muß.

Ich habe daher auf Anregung der Askania-Werke, Berlin-Friedenau, zunächst das Moment bestimmt, das ein übliches Halbsekundenpendel von Stückrathscher Form (hergestellt aus einer deutschen Stahllegierung von ähnlichen Eigenschaften wie Invar)[3] in schwachen magnetischen Feldern von der Größenanordung der Vertikalintensität annimmt und die daraus resultierende Verkleinerung der Schwingungsdauer berechnet. Die Messungen wurden bei Feldstärken von 0,18 Gauß, dem Wert der am Beobachtungsort herrschenden Horizontalintensität, bis zu 1,5 Gauß durchgeführt. Als Anzeigeinstrument diente ein astatisches Torsionsmagnetometer, dessen Einstellung mittels Fernrohr und Skala abgelesen wurde. Die Empfindlichkeit betrug etwa 1 $\gamma$ Skalenteil. Die beiden Magnete des Magnetometers wurden nach O-W orientiert und das Pendel in horizontaler Lage (Pendelstange Richtung N-S) in der Ebene des unteren Magneten dem Apparat von Westen her genähert. Die bei 75 cm Abstand bei den beiden Lagen des Pendels (Linse im N und Linse im S) erhaltenen Ausschläge, die nach sorgfältiger Entmagnetisierung fast gleich gemacht werden konnten, wurden verglichen mit der Einwirkung, die ein Magnet von bekanntem Moment (104 cgs) in der gleichen Lage erzeugte. Durch eine das Pendel umgebende Spule, deren direkter Einfluß auf das Magnetometer in bekannter Weise durch eine gleiche Spule kompensiert war, konnte das erregende Feld verstärkt werden, wobei sich zeigte, daß die Permeabilität bis zu den verwendeten Intensitäten von 1,5 Gauß konstant war.

Als Resultat der Untersuchung ergab sich, daß das Pendel in einem Magnetfeld von z. B. 0,45 Gauß, also unter den Bedingungen, unter denen es in unseren Breiten schwingen würde, ein Moment von 170 cgs annahm. Die dadurch bedingte Verringerung der Schwingungszeit berechnet sich aus

$$dT = \frac{dD}{4D},$$

wo $dD$ das Direktionsmoment der Vertikalintensität, $D$ das der Erdschwere bedeuten. Da sich $dD$ als Moment $\times$ Feldstärke zu 77 dyn. cm, $D$ als Masse $\times$ Erdbeschleunigung $\times$ Abstand des Schwerpunktes von der Schneide zu $1250 \times 980 \times 20{,}5 = 2{,}5 \cdot 10^7$ dyn. cm ergibt, so erhält man für $dT$ den Wert $7{,}7 \cdot 10^{-7}$ sec.

Da das induzierte Moment, wie oben gefunden, proportional der induzierenden Intensität ist, so ist die Berücksichtigung des Einflusses der Vertikalintensität leicht möglich. Es dürfte sich allerdings empfehlen, zur Kontrolle eine Schmidt'sche Vertikalwaage mitzuführen, aus deren Ausschlag man beim Annähern des Pendels in bekannter

[1] Vgl. z. B. O. Meisser, *Zeitschr. f. Geophys.* **6.** *S. 8. 1930.*

[2] E. Kohlschütter, *Verh. d. balt. geodät. Kom. Helsinski 1928,* O. Meisser, *l. c.*

[3] Das Pendel stammte von den genannten Werken.

Weise das magnetische Pendelmoment bestimmen kann. Die Beseitigung eines etwaigen restlichen remanenten Momentes ist dann nicht nötig, da hierbei das wirklich vorhandene, die Korrektion bestimmende Moment gemessen wird.

Die Frage der gegenseitigen Beeinflussung der Pendel im Apparat bleibt allerdings noch offen. Es ist zu erwarten, daß die Pendelmomente hier um etwa 10 bis 20% kleiner sein werden. Eine Untersuchung, die sich mit der Beantwortung dieser Frage beschäftigt, ist beabsichtigt.

Da die Korrektion auch im Felde auf 10% genau bestimmt werden kann, so wird man die Vorteile der thermischen Eigenschaften des Invars oder der ähnlichen Legierungen nicht gern aufgeben wollen und für Messungen, die eine Genauigkeit von $1 \cdot 10^{-7}$ sec erstreben, die Stahlpendel beibehalten.

Die eine wesentlich höhere innere Genauigkeit besitzenden Stabpendel wird man dagegen zweckmäßig aus unmagnetischem Material fertigen. Um einen Begriff von den hier zu erwartenden induzierten Momenten zu bekommen, wurde ein Stab aus ähnlichem Material auf der bei Bornim gelegenen magnetischen Warte der Askania-Werke, Berlin-Friedenau, nach der erwähnten Feldwaagen-Methode untersucht. Der zylindrische Stab von 18 cm Länge und 4 cm Durchmesser nahm in dem dortigen Vertikalfeld von 0,43 Gauß ein Moment von 110 cgs. an. Halbsekunden-Stabpendel aus dem gleichen Material, die bekanntlich etwa 43 cm lang sein müssen, würden in demselben Feld ein Moment von mindestens 120 cgs. erhalten. Bei einem Durchmesser von etwa 2,5 cm würde die entsprechende Verkleinerung der Schwingungszeit $6 \cdot 10^{-7}$ sec betragen. Die beabsichtigte Steigerung der Genauigkeit auf $2 \cdot 10^{-8}$ sec dürfte wegen der Unsicherheit in der Ermittlung der Korrektion dann nicht mehr möglich sein.

---

# Über eine Abstimmvorrichtung der Halbsekundenpendel Stückrathscher Form.

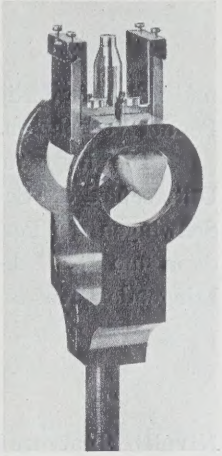
Von

**M. Rössiger** in Clausthal.

Um das „Gegenschwingverfahren" bei praktischen Pendelmessungen erfolgreich anwenden zu können, ist es bekanntlich erwünscht, daß die Schwingungszeiten zweier gegeneinander schwingender Pendel möglichst übereinstimmen. Es erschien daher angebracht, die Pendel abstimmbar zu machen, wobei die zu schaffende Abstimmvorrichtung sowohl dem Hersteller eine Vorabstimmung ermöglichen, als auch den Beobachter jederzeit in die Lage versetzen sollte, eine nachträgliche Feinabstimmung vorzunehmen. Die im folgenden beschriebene Vorrichtung wurde von den Askania-Werken Bambergwerk, in Berlin-Friedenau, an den Pendeln des von ihnen hergestellten Vierpendelapparates angebracht.

Die gewünschten kleinen Veränderungen der Schwingungszeit hätten wohl am einfachsten durch Verschiebung eines Gewichtes längs einer Schraubenspindel hervorgerufen werden können. Eine solche Vorrichtung mußte indessen aus Gründen der Unveränderlichkeit der Pendel verworfen werden. Es ist zweifellos günstiger, die Abstimmung durch Wegnehmen (z. B. Abfeilen) von Masse von einer geeigneten Stelle des Pendelkörpers vorzunehmen. Die damit gegebene Einseitigkeit der Änderung und die Unmöglichkeit, eine einmal vorgenommene Änderung rückgängig machen zu können, sind dabei leicht in Kauf zu nehmen.

Da bei dem Wegnehmen von Masse die Goldoberfläche des Pendels nicht verletzt werden sollte, so war die Anbringung eines aus Gold gefertigten Abstimmgewichtes notwendig. Der Ort seiner Anbringung am Pendelkörper war so zu wählen, daß die Symmetrie des Pendels nicht gestört wurde und die beabsichtigten kleinen Änderungen der Schwingungszeit durch Wegnahme von relativ großen Mengen, also bequem bewirkt werden konnten.



Die gesamte Abstimmvorrichtung erhielt schließlich folgende Gestalt. Ein Zylinder aus dem Pendelmaterial, der zwischen den beiden Spiegeln auf dem Pendelkopf eingeschraubt ist, trägt an seinem oberen Ende den eigentlichen Abstimmkörper, einen Goldzylinder von 3 mm Höhe und 4 mm Durchmesser (s. Abb.). Der Goldkörper ragt soeben über den Rand der Spiegel hinaus und kann daher leicht abgefeilt werden.

Da die Pendel beim Verlassen der Werkstatt im allgemeinen einen Unterschied der Schwingungszeit von $10^{-5}$ sec aufweisen, bzw. leicht zu solchen Paaren zusammengestellt werden können, so genügte es, wenn der Abstimmkörper eine Veränderung der Schwingungsdauer von insgesamt $3 \times 10^{-5}$ sec zuließ.

Berechnen wir die Beeinflussung der Schwingungszeit durch das Abfeilen eines gewissen Stückes des Abstimmkörpers.

Aus der Formel für die Halbschwingungszeit

$$T = \pi \sqrt{\frac{K}{MgS}},$$

erhält man für ihre Verkleinerung $dT$, bei Fortnahme der Masse $dM$ im Abstande $s$ oberhalb der Schneide

$$dT = \frac{T}{2}\left(\frac{dK}{K} + \frac{dM}{M} \cdot \frac{s}{S}\right),$$

Mit den Zahlenwerten für $K = 6{,}15 \cdot 10^5\ g\ \mathrm{cm}^2$, $M = 1240\ g$, $s = 3{,}4$ cm wird schließlich

$$dT = 3{,}8 \cdot 10^{-5} \cdot dM.$$

Nach $dM$ aufgelöst und an Stelle $dM$ die entsprechende Länge des $dh$ vom Goldzylinder abzunehmenden Stückes, in mm gemessen, eingeführt, ergibt

$$dh = 1{,}1 \cdot 10^5 \cdot dT. \qquad 1)$$

Wie man aus der Gleichung ersieht, ist also eine Verkleinerung der Schwingungszeit von $10 \cdot 10^{-7}$ sec — die einer Abnahme von etwa $^1/_{10}$ mm entspricht — noch bequem zu bewirken.

Die Bestimmung des zu korrigierenden Unterschiedes der Schwingungszeiten zweier gegeneinander schwingender Pendel geschieht am besten durch unmittelbaren Vergleich.

Hierzu werden die zwei zu untersuchenden Pendel mit einem Phasenunterschied von 180° möglichst gleichzeitig in Bewegung versetzt. Die Bilder der im Fernrohr des Koinzidenzapparates sichtbaren Skalen bewegen sich dann mit dem Phasenunterschied 0°, sodaß ein Nachbleiben des einen Pendels gegen das andere leicht erkannt werden kann[1]. Man beobachtet zweckmäßig so lange, bis der Unterschied beim Passieren der

[1] Auch bei den Apparaten, die noch nicht mit einem Amplitudengeber für gleichzeitiges Loslassen der Pendel ausgerüstet sind, ist dieser Bewegungszustand leicht zu erreichen. Man setzt

Ruhelage etwa 1—2 Skalenteile (bei einem Gesamtausschlage von etwa 10 Skalenteilen) beträgt.

Da die Geschwindigkeit der bewegten Skala in diesem Augenblick $2\pi A$ Skal.-T./sec ist, (wenn $A$ den einseitigen Ausschlag der Skala bedeutet), so kann man aus der beobachteten Verschiebung von $n$ Skal.-T. und der verflossenen Gesamtzeit $t$ den gesuchten Unterschied der Halbschwingungszeiten berechnen zu

$$dT = \frac{n}{4\pi A t}$$

und die erforderliche aus Gl. (1) zu berechnende Korrektion an dem nachbleibenden Pendel vornehmen.

Die insgesamt für die Abstimmung aufzuwendende Zeit ist recht gering. Ein Unterschied der Schwingungszeiten von z. B. $10 \cdot 10^{-7}$ sec kann bereits nach einstündigem Schwingen der Pendel genügend genau erkannt werden. Die beiden Skalenbilder wären dann um $^1/_2$ Skal.-T. gegeneinander verschoben, was zur Berechnung der noch anzubringenden Korrektion vollkommen ausreicht.

---

## Berichte.

### Nivellierinstrument von Otto Fennel Söhne mit Einstellung der Libelle im Gesichtsfeld des Fernrohres.

Bericht von P. Werkmeister in Dresden.

Die Firma Otto Fennel Söhne in Kassel stellt seit kurzem ein Nivellierinstrument her, bei dem die beiden Enden der Libellenteilung mit Hilfe eines Prismensystems derart in das Gesichtsfeld des Fernrohrs übertragen werden, daß in diesem beim Gebrauch die Libelle mit verkürzter Blase unmittelbar neben und parallel zum Bild der Nivellierlatte erscheint (Abb. 1 u. 2). Diese Einrichtung zum Beobachten des Blasenstandes der Libelle gestattet eine parallaxenfreie Einstellung der Libellenblase und bietet außerdem den Vorteil, daß man unmittelbar vor der Ablesung an der Latte sehen kann, ob die Libelle einspielt. Der Versuch, beim Nivellierinstrument die Libellenbeobachtung in das Gesichtsfeld des Fernrohrs zu verlegen, ist nicht neu; ein — allerdings nicht befriedigender — Versuch wurde 1886 von G. Butenschön (*diese Zeitschr.*

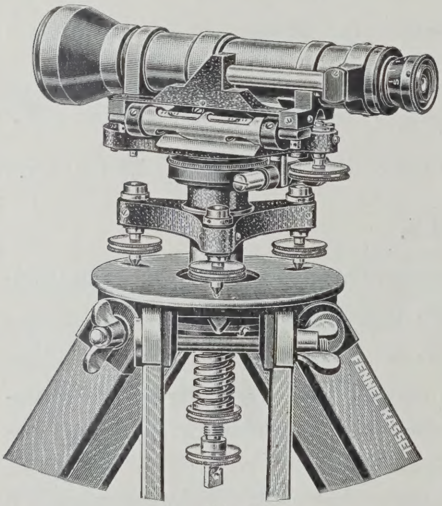



Abb. 1.

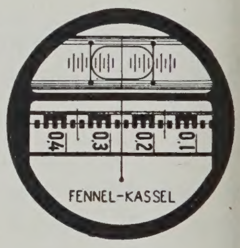



Abb. 2.

---

zunächst ein Pendel in Bewegung und verfolgt, während man den Amplitudengeber des gegenüberliegenden Pendels in der Hand hält, die in dem Spiegel des schwingenden Pendels zu beobachtende auf- und abgehende Bewegung eines entfernten Gegenstandes, am besten der Skala des Koinzidenzapparates. Nach einiger Gewöhnung an den Rhythmus wird es gelingen, das in Gang zu setzende Pendel gerade in dem Augenblick loszulassen, indem das gespiegelte Skalenbild seine Bewegungsrichtung umkehrt. Ein grobes Nichttreffen des richtigen Augenblicks wird dabei sofort an dem mangelnden Synchronismus der nun in den beiden bewegten Spiegeln zu beobachtenden Bewegungen der Skala erkannt. Die endgültige Kontrolle des richtigen Bewegungszustandes erfolgt natürlich, wie oben angegeben, mittels des Fernrohres des Koinzidenzapparates.

*6. S. 440. 1886)* und später von L. Tesdorpf gemacht. Der jetzt vorliegende Versuch muß als recht gut gelungen bezeichnet werden.

Die Firma Otto Fennel Söhne hat ihre neue Vorrichtung zum Einstellen der Libelle zunächst an einem für technische Nivellements oder Nivellements 2. Ordnung bestimmten Nivellierinstrument angebracht. Das Instrument hat ein 24 cm langes und 30 fach vergrößerndes Fernrohr mit innerer Einstellinse. Die Libelle hat eine Empfindlichkeit von 30 s für 2 mm und ist an den Beobachtungsstellen mit einer — für die Beobachtung im Fernrohr bequemen — 0,5 mm Teilung versehen. Das Fernrohr und die Libelle sind fest miteinander verbunden. Die Einstellung der Libelle geschieht mit einer vertikal angeordneten Kippschraube. Für die Berichtigung des Instruments hat die Libelle eine entsprechende Vorrichtung; die Fadenkreuzplatte ist fest im Fernrohr angebracht. Für die Einstellung in horizontalem Sinn ist eine Klemmschraube mit einer Feinbewegungsschraube vorhanden; eine Dosenlibelle erleichtert die Aufstellung des Instruments. Die Fußschrauben sind gegen Staub geschützt.

Um ein Urteil über die Genauigkeit zu bekommen, mit der die Libelle bei der neuen Vorrichtung zum Einspielen gebracht werden kann, habe ich für zwei Beobachter M und W einen nur von der Einstellung der Libelle abhängigen mittleren Fehler für das neue Instrument von Otto Fennel Söhne und für ein diesem in bezug auf Fernrohrvergrößerung und Libellenempfindlichkeit ungefähr entsprechendes Instrument von C. Zeiss mit der sonst üblichen Libelleneinstellung bestimmt. Das dabei angewandte Verfahren bestand darin, daß für eine 50 m große Zielweite an einer Holzwand eine 2 mm starke, in schwarzer Tusche auf Zeichenpapier gezeichnete Strichmarke je 12 mal eingewiesen und hierauf ihr Abstand von einer etwa 5 cm entfernten fest angebrachten Strichmarke mit Stechzirkel und Transversalmaßstab auf 0,1 mm genau gemessen wurde. Auf diese Weise wurde zunächst der von dem Einstellen der Libelle und dem Zielen abhängigen mittlere Fehler $\mu$ und sodann der nur vom Zielen abhängige mittlere Fehler $\mu_z$ bestimmt; den nur vom Einstellen der Libelle abhängigen mittleren Fehler $\mu_l$ erhält man dann aus $\mu_l = \sqrt{\mu^2 - \mu_z^2}$. Bei der Bestimmung des Gesamtfehlers $\mu$ wurde so verfahren, daß vor jeder der 12 Einweisungen der Strichmarke der Libelle zuerst ein Ausschlag erteilt und sie dann erneut eingestellt wurde; bei der Bestimmung des einen Zielfehlers $\mu_z$ wurde das Instrument während der 12 Einweisungen nicht berührt.

Für das Nivellierinstrument von Otto Fennel Söhne ergaben sich die folgenden Werte:

| Beobachter | $\mu$ | $\mu_z$ | $\mu_l$ |
|---|---|---|---|
| M | ± 0,45 | ± 0,31 | ± 0,33 mm |
| W | ± 0,33 | ± 0,24 | ± 0,22 mm |

Bei dem Nivellierinstrument von C. Zeiss wurden die nachstehenden Werte gefunden[1]:

| Beobachter | $\mu$ | $\mu_z$ | $\mu_l$ |
|---|---|---|---|
| M | ± 0,66 | ± 0,18 | ± 0,64 mm |
| W | ± 0,46 | ± 0,22 | ± 0,40 mm |

Wie diese Werte zeigen, ist der von der Einstellung der Libelle allein abhängige Fehler $\mu_l$ bei beiden Beobachtern bei dem neuen Instrument von Otto Fennel Söhne nur rund halb so groß als bei dem Instrument mit der seitherigen Art der Libelleneinstellung.

Mit Rücksicht auf die genannten Vorteile der neuen Art der Libelleneinstellung — parallaxenfreie Einstellung der Libelle und Beobachtung des Libellenstandes zusammen mit der Lattenablesung „mit einem Blick" — kann man die neue Einrichtung auch für Nivellierinstrumente für feinste Messungen empfehlen; diese müßten wegen der Beobachtung bei einspielender Libelle mit einer vor dem Objektiv um eine horizontale Achse drehbaren planparallelen Glasplatte versehen sein, mit deren Hilfe die Zielachse — mit einer Trommel meßbar — parallel verschoben werden kann.

---

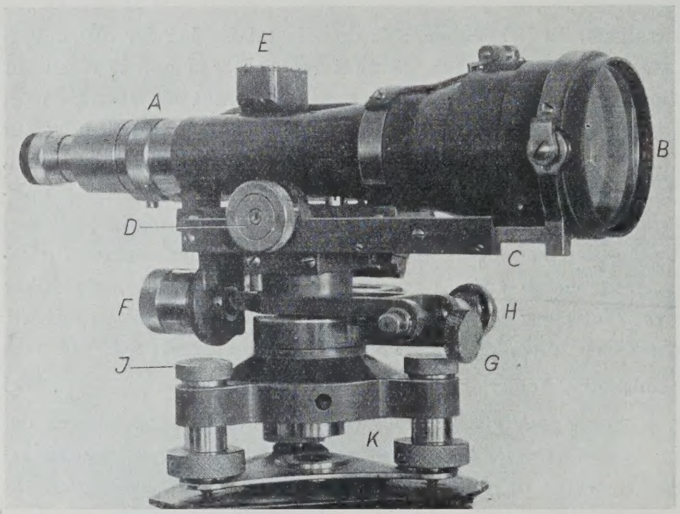
[1] Der Beobachter M benützte beim Einstellen der Libelle den für diesen Zweck angebrachten Spiegel; der Beobachter W nicht.

## Das Präzisions-Nivellierinstrument von H. Wild.

Bericht von P. Werkmeister in Dresden.

H. Wild in Heerbrugg (Schweiz)[1] baut jetzt auch ein für feinste Messungen bestimmtes Nivellierinstrument mit festem Fernrohr und fester Libelle. Das Instrument ist wie das nach den Angaben von H. Wild gebaute große Nivellierinstrument von C. Zeiss für Messungen mit einspielender Libelle bestimmt; die Lattenablesungen erfolgen wie bei dem Zeissischen Instrument durch Parallelverschiebung der Zielachse mit Hilfe einer vor dem Objektiv um eine horizontale Achse drehbar angebrachten planparallelen Glasplatte.

Das Instrument hat ein 27 cm langes Fernrohr mit 36facher Vergrößerung und 50 mm Objektivdurchmesser. Die Scharfeinstellung des Lattenbildes erfolgt mit Hilfe einer inneren Einstellinse, die mit einem rund um das Fernrohr gehenden Ring *A* (vgl. die Abb.) verschoben werden kann. Die Ablese- oder Einstellmarke des Fernrohrs ist auf der rechten Seite des Vertikalstriches ein horizontaler Strich zur Ablesung an einer Latte mit Felderteilung; auf der linken Seite des Vertikalstriches besteht die Marke aus zwei, einen Winkel von etwa 10 Grad bildenden Strichen zur Ablesung an einer Latte mit Strichteilung. Die planparallele Glasplatte *B* ist durch ein zweckmäßig angeordnetes Gestänge *C* mit einer Trommel *D* verbunden, an der die Parallelverschiebungen der Zielachse bequem auf 0,05 mm genau abgelesen werden können. Der Verschiebungsbereich der Zielachse durch Drehen der Trommel *D* beträgt 5 mm.




Die Libelle hat eine Empfindsamkeit von 6—7 sek für 2 mm; ihre Parallaxenfreie Einstellung geschieht durch Aneinanderstellen der in dem Prisma *E* sichtbaren Halbbilder der beiden Blasenenden mit Hilfe der Kippschraube *F*. Dem Prisma *E* ist eine schwach vergrößernde, dem Auge des jeweiligen Beobachters angepaßte Linse vorgeschaltet; der seitherige Nachteil der Wildschen Vorrichtung zum Beobachten des Libellenstandes — bestehend in der Einstellung des Kopfes für die richtige Sehweite zu den Blasenbildern[2] — ist damit beseitigt. Die der Empfindlichkeit der Libelle angepaßte Kippschraube *F* ist mit einer Trommelteilung versehen, an der mit einer Marke diejenige Stellung abgelesen werden kann, für welche die Libellenachse senkrecht zur Umdrehungsachse des Instruments ist.

Für die Einstellung des Instruments in horizontalem Sinn ist eine Klemmschraube *G* mit einer Feinbewegungsschraube *H* vorhanden. Für die rohe Aufstellung des Instruments mit den Stativbeinen und die erste Einstellung mit den Fußschrauben ist das Instrument mit einer Dosenlibelle ausgerüstet. Die drei Fußschrauben sind gegen Staub geschützt und können durch Drehen des Knopfes *I* in einer bestimmten Stellung festgehalten werden; die letztere Einrichtung bietet dann einen Vorteil, wenn das Instrument längere Zeit in demselben Punkt stehenbleiben muß. Die Achse des Instruments ist aus Stahl und hat zylindrische Form.

---

[1] In Deutschland vertreten durch Gebr. Wichmann G. m. b. H. in Berlin.

[2] Vgl. P. Werkmeister, Besondere Vorrichtungen zum Beobachten des Libellenstandes bei Nivellierinstrumenten. *Diese Zeitschr.* **48**. *S. 39. 1928.*

Bei der Verpackung wird das Instrument auf einer rund 13×28 cm großen Metallplatte befestigt und eine nicht ganz 20 cm hohe Stahlhaube darüber gestülpt. Das Gewicht des Instruments beträgt in unverpacktem Zustand — samt dem Stativ — rund 8 kg und in verpacktem Zustand — ohne das etwa 4,6 kg schwere Stativ — 5,4 kg.

Die einzelnen Teile des Instruments sind zweckmäßig und handlich angeordnet; die Verpackung ist bequem und zuverlässig.

Die Untersuchung des Instruments geschieht in der beim Nivellierinstrument mit festem Fernrohr und fester Libelle üblichen Weise mit Hilfe von zwei Aufstellungen in der Mitte und im einen Ende einer durch zwei Punkte bestimmten, etwa 50 m langen Strecke. Die erforderliche Berichtigungsvorrichtung befindet sich an der Libelle, die mit Hilfe von zwei gegeneinander wirkenden Druckschrauben an dem einen Ende um das kugelförmig ausgestaltete andere Ende bewegt werden kann. Die Zielscheibe ist unveränderlich mit dem Fernrohr verbunden.

Dem Verschiebungsbereich der Zielachse durch Drehen der Trommel $D$ entsprechend erfordert das Instrument eine Latte mit einer 5-mm-Teilung. H. Wild empfiehlt eine Latte mit Strichteilung und 1 mm starken Strichen. Auf Grund der von mir mit dem Instrument ausgeführten Versuchsmessungen reicht die Strichstärke von 1 mm höchstens bis zu Zielweiten von 40 m; will man in der Zielweite bis zu 50 m gehen, so empfiehlt sich eine Strichstärke von etwa 1,5 mm.

Wird die planparallele Glasplatte $B$ abgenommen, was in einfacher Weise auszuführen ist, so kann das Instrument als gewöhnliches Nivellierinstrument zu jeder Lattenteilung verwendet werden.

Um ein erstes Bild von der mit dem neuen Instrument erreichbaren Genauigkeit zu erhalten, habe ich für eine Zielweite von 50 m mit Hilfe der bekannten Nivellierlatte von C. Zeiss mit 5-mm-Strichteilung — Strichstärke 1 mm[1] — bei bedecktem Himmel den mittleren Fehler $\mu$ einer Lattenablesung bestimmt. Die Latte wurde für diesen Zweck auf einer gut festgetretenen eisernen Unterlagsplatte aufgestellt und an einem Zaun festgebunden. Von zwei Beobachtern M und W wurde mit dem auf seinem Stativ aufgestellten Instrument je 12mal hintereinander an der Latte abgelesen bzw. der in Frage kommende Lattenstrich durch entsprechendes Drehen der planparallelen Glasplatte bei einspielender Libelle eingestellt; dabei wurde vor jeder Neueinstellung der Libelle ein Ausschlag erteilt und diese hierauf neu eingestellt, so daß also der ermittelte Ablesefehler $\mu$ nicht nur den beim Einstellen des Lattenstriches entstehenden Fehler, sondern auch den vom Einstellen der Libelle herrührenden Fehler enthält. Bei der so durchgeführten Untersuchung ergaben sich die folgenden Werte für den mittleren Fehler einer Lattenablesung:

| Beobachter | $\mu$ | |
|---|---|---|
| M | $\pm$ 0,19 mm | im Mittel $\mu = \pm$ 0,17 mm. |
| W | $\pm$ 0,15 mm | |

Damit findet man für den mittleren Fehler $m$ einer 1 km langen, einmal nivellierten Strecke

| Beobachter | $m = \mu\sqrt{2n}$ ($n$ = Anzahl der Instrumentaufstellungen) | |
|---|---|---|
| M | $\pm$ 0,85 mm | im Mittel $m = \pm$ 0,76 mm. |
| W | $\pm$ 0,67 mm. | |

Benutzt man eine Nivellierlatte — wie die nach den Angaben von H. Wild bei C. Zeiss hergestellte — mit zwei, um eine runde Zahl gegeneinander verschobenen Teilungen, so erhält man auf Grund der obigen Zahlen für den mittleren Fehler $m'$ einer einmal, mit einer Latte mit Doppelteilung nivellierten Strecke von 1 km Länge

$$m' = \pm 0{,}5 \text{ bis } \pm 0{,}6 \text{ mm.}$$

Um ein weiteres Urteil über die mit dem neuen Nivellierinstrument zu erreichende Genauigkeit zu erhalten, ließ ich durch meinen Assistenten, Herrn Vermessungsassessor P. Morgner, ein 2,08 km langes, zu dem Ausgangspunkt zurückkehrendes Nivellement mit durchweg 40 m Zielweite und Ablesung an beiden Teilungen der Latte von C. Zeiss ausführen[2]. Das durch die eine Latten-

---

[1] Eine Latte mit etwas stärkeren Strichen stand mir nicht zur Verfügung.

[2] Vor der Einstellung des Striches an der zweiten Lattenteilung wurde der Libelle je ein Ausschlag erteilt und die Libelle sodann wieder eingestellt.

teilung bestimmte Nivellement ergab für die nur 2 km lange Strecke einen Anschlußfehler von 0,25 mm, das durch die andere Lattenteilung bestimmte ergab 0,2 mm.

Berechnet man aus den Ablesungen an den beiden Lattenteilungen für ein ausgeführtes Nivellement je den Unterschied zwischen zwei übereinstimmenden Ablesungen und ermittelt man damit den mittleren Unterschied $u$ zwischen den beiden Lattenteilungen, so kann man damit den mittleren Fehler $\mu_u$ eines solchen Unterschiedes und hieraus den mittleren Fehler $\mu = \frac{\mu_u}{\sqrt{2}}$ einer Lattenablesung bestimmen. Bei dem oben angeführten Nivellement mit rund 2 km Länge und 52 übereinstimmenden Doppelablesungen ergab sich der Wert

$$\mu = \pm\, 0{,}12 \text{ mm}.$$

Berechnet man mit diesem Wert den mittleren Fehler $m$ einer 1 km langen, mit Benutzung von nur einer Lattenteilung einmal nivellierten Strecke und den mittleren Fehler $m'$ derselben, aber mit Benutzung der beiden Lattenteilungen einmal nivellierten Strecke, so erhält man die Werte

$$m = \pm\, 0{,}60 \text{ mm} \quad \text{und} \quad m' = \pm\, 0{,}42 \text{ mm}.$$

Wie die im vorstehenden mitgeteteilten Genauigkeitsbestimmungen zeigen, ist das Präzisions-Nivellierinstrument von H. Wild ein Instrument, mit dem Höhenbestimmungen von außerordentlich hoher Genauigkeit ausgeführt werden können.

## Eine neue Bauart der Rechenmaschine „Hamann-Automat“.

Bericht von P. Werkmeister.

Die nach den Angaben von Chr. Hamann von der Deutsche Telephonwerke und Kabelindustrie Aktiengesellschaft, Berlin, gebaute Rechenmaschine „Hamann-Automat“[1] ist mit einer wesentlichen Verbesserung versehen worden. Die Verbesserung besteht darin, daß die Maschine in ihrer neuen Form nicht nur beim Dividieren, sondern auch beim Multiplizieren vollständig selbsttätig arbeitet. Der Antrieb der Maschine erfolgt durch einen Motor; beim Versagen des elektrischen Stromes kann die Maschine auch mit Hilfe einer Kurbel von Hand angetrieben werden.

Beim Multiplizieren wird der Multiplikand in der üblichen Weise im Einstellwerk und der Multiplikator mit Hilfe von gezahnten Scheiben im Umdrehungszählwerk eingestellt; wird sodann der Schlitten mit dem Resultatwerk nach rechts gedrückt, so wird dadurch der Motor ausgelöst und die Rechnung von der Maschine selbsttätig ausgeführt. Beim Dividieren wird der Dividend mit Hilfe von gezahnten Scheiben im Resultatwerk und der Divisor im Einstellwerk eingestellt; durch Andrücken des Schlittens nach rechts wird der Motor ausgelöst, worauf die Maschine die Rechnung selbsttätig ausführt. Die Maschine kann beim Multiplizieren und Dividieren mit der linken Hand allein bedient werden.

In bezug auf Einzelheiten — wie z. B. Lösch- und Sperrvorrichtungen — kann auf die angegebene Beschreibung der früheren Bauart verwiesen werden.

Die überaus handliche Maschine hat dieselben geringen Abmessungen wie die frühere Bauart sie wird sicher von vielen recht gerne benutzt werden.

## Untersuchungen über die Genauigkeit von Längenbestimmungen auf funktelegraphischem Wege unter besonderer Berücksichtigung der Zenithrefraktion.

*Von* H. Mahnkopf. *Verhandl. d. 4. Tagung d. balt. geodät. Kommission. Sonderdruck. 19 S. Helsingfors. 1929.*

Das Verhalten der sogenannten „mittleren Fehler einer Signalkorrektion“ der Aufnahme funktelegraphischer Zeitsignale zum Zwecke von Längenbestimmungen hat bereits B. Wanach durch Ausgleichung der Beobachtungen untersucht und dabei nachgewiesen, daß die Signalaufnahme systematischen Fehlerquellen ausgesetzt ist. Diese Fehlerquellen, die die Zeitbestimmungen beeinflussen, sind in Refraktionsanomalien zu suchen. Der Verf. bespricht zunächst ein von ihm bereits 1921 (*Arch. d. D. Seewarte. 1921. S. 31 ff.*) entwickeltes Verfahren, nach dem sich die bei Problemen wie dem vorliegenden auftretenden Fehler in den zufälligen und den systematischen

[1] Vgl. *diese Zeitschr.* **48**. *S. 405. 1928.*

Anteil trennen lassen. Die Nachteile des an sich wertvollen Verfahrens sind der große Aufwand an Rechenarbeit und die Schwierigkeit, die mittlere tägliche Gangschwankung der benutzten Uhren genau zu berücksichtigen. Letztere läßt sich häufig nicht genau bestimmen, da sie von der Unsicherheit der Zeitbestimmung beeinflußt wird. Werden zur Längenbestimmung zwischen zwei Stationen nur die Beobachtungen benutzt, bei denen an beiden Orten sowohl Signalaufnahmen wie auch Zeitbestimmungen vorliegen, dann spielt die Gangschwankung der Uhr kaum eine Rolle und das Rechenverfahren vereinfacht sich sehr.

Der Verf. untersucht dann, was sich aus den Beobachtungen einer einzigen Station ermitteln läßt. Nach Gleichungen, die Wanach angegeben hat, werden für die Uhren des Preußischen Geodätischen Institutes Rechnungen durchgeführt, die sich auf Zeitbestimmungen bezogen, die in den Jahren 1926/27 und 1927/28 an einem Durchgangsinstrument mit Registriermikrometer gewonnen wurden. Nach sorgfältiger Kritik der unmittelbar anfallenden Größen wurden die mittleren zufälligen Gangänderungen der Uhren und die mittlere Unsicherheit der sich aus den Zeitbestimmungen ergebenden Uhrkorrektionen nach drei Verfahren berechnet. Die Ergebnisse lassen erkennen, daß die ermittelte mittlere Unsicherheit der Zeitbestimmungen für Potsdam mit $= \pm$ (0,023 s $\pm$ 0,00″ s) als verbürgt angesehen werden muß.

Der mittlere systematische Fehler $M$, zwischen $\pm$ 0,014 s und 0,020 s einer Potsdamer Zeitbestimmung ist ebenso groß, wie die Unsicherheit der Beobachtungen selbst und ist auf atmosphärische Einflüsse zurückzuführen. Danach würde, wie der Verfasser sagt, der Versuch den m. F. einer Zeitbestimmung durch Vermehrung der Anzahl der Zeitsterne durch schärfere Bestimmung der Instrumentalfehler und andere Maßnahmen auf beliebig kleinen Betrag herabzudrücken, aussichtslos sein. *W. Keil.*

## Neue Möglichkeiten des Präzisionsuhrenbaus.

*Nach* H. Geffken und H. Richter, *Uhrmacherwoche 1929. S. 871 u. 892*, sowie H. Bock, *Uhrmacherkunst. 1929. S. 943.*

Von den beiden genannten Arbeiten, die zum Teil dasselbe Thema behandeln, ist besonders die der erstgenannten Verfasser wegen ihres systematischen Aufbaus bemerkenswert. Nach einer grundlegenden Behandlung der Bedingungen eines idealen Antriebes eines Präzisionspendels geben die beiden Verfasser interessante Vorschläge, die in erster Linie Analogien mit den in der Bildfunktechnik bei der Synchronisierung auftretenden Problemen bilden. Während bei den bisher üblichen Steigrad- oder elektrischen Impulsen eine stoßweise Zuführung der Energie und eine Dämpfung in den Zwischenzeiten vorhanden ist, ist als Ideal aufzustellen ein möglichst dämpfungsfreies System, das unter dem Einfluß einer absolut frequenzgleichen, sinusförmig schwankenden und in ihrer Amplitude gegen diejenige des Systems um 90 Grad phasenverschobenen Kraft steht. Nach ausführlicher Diskussion dieser Forderungen wird zunächst die vor längerer Zeit von Schieferstein vorgeschlagene und damals etwas Aufsehen erregende elastische Kopplung, bei der der gewünschte sinusförmige Antrieb, aber ohne Vermeidung der Dämpfung, erreicht wurde, mit den neueren, auch hier besprochenen Anordnungen von Shortt und Schuler verglichen, bei denen zwar Dämpfungsfreiheit weitgehend erreicht wird, dagegen der stoßförmige Antrieb beibehalten ist.

Sodann werden die mit Hilfe eines Quarz-Kristall-Schwingungskreises erzielten ungedämpft schwingenden Systeme extremer Frequenzkonstanz behandelt. Die hier auftretenden schnellen Schwingungen können aber nicht direkt zum Antrieb eines Uhrwerks benutzt werden. Es werden daher von den Verfassern die von Siadbei (*Comptes Rendus 1929. S. 1390*) vorgeschlagenen Überlagerungsschaltungen erwähnt, bei denen durch Kombination zweier ein wenig verschiedener Frequenzen eine niederfrequente „Schwebungsfrequenz" erhalten wird. Diese gestattet wohl den direkten Antrieb einer Synchronmotor-Uhr, d. h. eines von einem Synchronmotor frequenzabhängig betriebenen Zeigerwerkes. Während aber die direkten piezoelektrischen Schwingungskreise eine außerordentliche Frequenzkonstanz haben, die bei sorgfältigster Beobachtung aller Vorsichtsmaßnahmen die außerordentliche Genauigkeit von $^1/_{20}$ Sekunden pro Tag erzielen würden, bringt die Schwebungsmethode nach Untersuchungen von Hensel derartige Fehler in der Frequenzkonstanz, daß $\pm 2\,\%$ erhalten würden, was 29 Minuten Abweichungen pro Tag entsprechen würde, also eine absolut unbrauchbare Genauigkeit. Die Verfasser deuten an, daß man

nach wesentlich genaueren piezo-elektrischen Systemen sucht. Meiner Ansicht müßte man aber wohl andere Wege der Frequenzerniedrigung gehen, als ihn die Schwebungsmethode bietet.

Professor Bock berichtet, daß Dr. Marrison von der *Western Electric Cie.* ein solches piezoelektrisches System zum Antrieb einer Synchronmotor-Uhr benutzt habe. Leider ist in diesem etwas allgemein gehaltenen Bericht keine Angabe darüber vorhanden, ob eine Schwebungsmethode benutzt ist, und welche Genauigkeiten erzielt sind. Offenbar liegen aus Amerika bisher nur sehr undurchsichtige Tendenzmeldungen vor. Bock weist im wesentlichen auf den Einfluß von Temperatur- und Luftdruckschwankungen auf die Frequenzkonstanz der piezoelektrischen Systeme hin und gibt an, daß Marrison die ganze Anordnung mit dicken Polsterungen gegen Wärmeschwankungen versehen habe. Auch ein anderer Bericht in der *Süddeutschen Uhrmacher-Zeitung*, dessen Verfasser ungenannt ist, geht nicht über allgemeine Andeutungen hinaus. Wenn bekanntlich auch auf anderen Gebieten, insbesondere in der Elektro-Akustik, an ähnlichen Problemen der Schwebungsmethode und der piezoelektrischen Vorgänge eifrig gearbeitet wird, dürfte man vorläufig dieser Angelegenheit doch mit etwas Skepsis entgegensehen, es sei denn, daß erfolgreich neue Methoden der Frequenzerniedrigung entwickelt werden.

Als ein Verfahren, das bereits größere praktische Bedeutung hat, wird von den erstgenannten Verfassern die in der Bildfunktechnik von Karolus und Hensel weiter entwickelte Stimmgabelschaltung erwähnt. Die elektromagnetisch unterhaltene Stimmgabel ist bekanntlich von jeher in der Präzisionszeitmessung benutzt worden, wobei durch die Zinken der Gabel jeweils im Takte der Schwingungen ein Kontakt geöffnet und geschlossen wurde. Es handelte sich hier aber um einen stoßförmigen Antrieb, der zugleich durch die Betätigung der Kontakte durch die Stimmgabel selbst wesentliche Dämpfung mit sich brachte, also dem Steigradantrieb eines Pendels analog ist. Die Stimmgabelschaltung von Karolus dagegen bringt durch Kombination einer Elektronenröhre mit differential wirkenden Magnetspulen einen sinusförmig verlaufenden und dämpfungsfreien Antrieb mit auch wesentlich niedrigeren Frequenzen als die Quarzkristallschaltungen.

Diese Dinge sind zwar bereits, vor allem von der Bildfunktechnik her bekannt; neu ist aber der interressante Vorschlag der Verfasser, diese frequenzkonstanten Schwingungen zum Antrieb einer Synchronmotor-Uhr zu verwenden, wodurch sich nach ihrer Ansicht die Genauigkeit astronomischer Durchgangsbestimmungen bis auf $^1/_{1000}$ einer Sekunde steigern läßt.

Um aber schnellaufende, vielpolige Synchronmotoren zu vermeiden, machen die Verfasser den überraschenden Vorschlag, die bisher aufgezeigten Wege auf einen direkten Pendelantrieb zu übertragen und wollen zu diesem Zweck auf der Achse eines schwingenden Pendels eine sich in einem Magnetfeld bewegende Spule anordnen. Die in dieser Spule gemäß dem Ampereschen Gesetz erzeugten Ströme, die im Takt der Pendelschwingungen schwanken, werden auf das Gitter einer Elektronenröhre übertragen. Gleichzeitig wird am Pendel eine zweite Spule befestigt, die von dem Anodenstrom der Röhre durchflossen wird und ebenfalls in einem Magnetfeld schwingt. Nach dem Prinzip des Drehspulgalvanometers tritt dann eine in ihrer Intensität sinusförmig schwankende Kraft ein, womit der oben genannten Forderung entsprochen wird. Zweckmäßiger ist es nach Angabe der Verfasser noch, anstatt einer zwei Steuerspulen zu verwenden. Auf die weiteren angegebenen Einzelheiten braucht hier nicht eingegangen zu werden. Die Verfasser geben an, daß mit dieser Anordnung $\pm$ 0,007 Sekunden pro Tag erreicht werden könnten.

Selbst für den kritischen Betrachter erscheinen die hier gebrachten Vorschläge überraschend in ihrer Logik und dem Hinweis auf ganz neue Wege in der Präzisionszeitmessung in Analogie zu anderen Gebieten. Gerade dieses Gebiet der Zeitmessung hat bekanntlich, bedingt durch die Verfeinerung geophysikalischer und astronomischer Methoden, viele interessante Neuerungen gebracht, wobei außer den bereits erwähnten Arbeiten insbesondere noch auf die von Dr. Lejay benutzte Verwendung von funkentelegraphischen Sekundensignalen an Stelle von Kontakten hingewiesen sei. Bei den von den Verfassern vorgeschlagenen Verfahren wäre es ja ohne weiteres möglich, die Schwingungen der Anodenströme zu registrieren, so daß Kontakte sowieso unnötig wären. Nicht ganz einfach dürfte die Wartung der Anordnung sein. *J. B.*

Nachdruck verboten.

Verantwortlich für die Redaktion: Oberregierungsrat Professor Dr. F. Göpel in Charlottenburg.
Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

# Zeitschrift für Instrumentenkunde.

*Kuratorium:*

Prof. Dr. **E. Kohlschütter** in Potsdam, Vorsitzender, Prof. Dr. **R. Straubel** in Jena,
Prof. Dr. **F. Weidert** in Berlin-Zehlendorf, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat i. R. Prof. Dr. F. Göpel in Charlottenburg-Berlin.

50. Jahrgang. **Oktober 1930.** Zehntes Heft.

## Über die Dezimalgleichung beim Ablesen von Skalen.

### I. Die allgemeinen Eigenschaften der Dezimalgleichung bei symmetrischen Skalen.

Von

**Helmer Bäckström** in Stockholm.

**Inhalt.**

§ 1. Ältere Untersuchungen über persönliche Fehler beim Ablesen von Skalen.
§ 2. Eine neue Methode zur Untersuchung der Dezimalgleichung.
§ 3. Die ersten Resultate. Die Verteilung der Schätzungen auf verschiedene Dezimalstellen.
§ 4. Die subjektive Einteilung des Skalenintervalles.
§ 5. Die Symmetrie der subjektiven Einteilung des Skalenintervalles in der Nähe des Teilstriches und bei der Intervallmitte.
§ 6. Berechnungen von Korrektionsthermen der Schätzungen verschiedener Dezimalen.
§ 7. Einige Bemerkungen über die Versuchsreihe Großmanns.
§ 8. Die Berechnung des durchschnittlichen Fehlers der Beobachtungen, die beim Schätzen einer gewissen Dezimale zugeordnet werden.
§ 9. Die Berechnung des durchschnittlichen Fehlers einer ganzen Beobachtungsreihe.
§ 10. Einige Bemerkungen über den Einfluß einer fehlerhaften Feststellung des Wertes $S_0$ auf die Genauigkeit des berechneten Fehlerwertes.
§ 11. Welchen Einfluß übt die Zahl der Beobachtungen auf die Dezimalfrequenzen? Einleitung zu einer Untersuchung des Einflusses von den ungleichmäßigen Einstellungen auf die berechneten Fehler.
§ 12. Über den Einfluß ungleichmäßiger Verteilung der Einstellungen auf die Genauigkeit der berechneten $\Delta$-Werte.
§ 13. Zusammenfassung.
§ 14. Literaturverzeichnis.

### § 1. Ältere Untersuchungen über persönliche Fehler beim Ablesen von Skalen.

Im Jahre 1795 fand der Greenwich-Astronom Maskelyne, daß sein Gehilfe D. Kinnebrook bei Passagebeobachtungen den Zeitpunkt der Passage stets 0,5 bis 0,8 s später als er selbst angab. Da keine Änderung in diesen Verhältnissen während der nächsten Zeit festzustellen war, sah sich Maskelyne 1796 genötigt, seinen Gehilfen zu verabschieden, weil dieser nach der Meinung Maskelynes sich einer fehlerhaften Beobachtungsmethode bediente.

Der Astronom F. W. Bessel schreibt einige Dezennien später folgendes hierüber: „Wenn man bedenkt, daß sowohl die Sterne als die Fäden in guten Mittagsfernröhren vollkommen deutlich erscheinen, daß die Bewegung in 1 s schon bei einer 60—80maligen Vergrößerung so groß ist, daß der Beobachter gewöhnlich bis auf ein, höchstens zwei Zehntel einer Sekunde sicher zu sein glaubt, so erscheint der Unterschied zwischen Maskelyne und seinem Gehilfen beinahe unglaublich. Wenn man

ferner erwägt, daß Herr Kinnebrook den Wunsch gehabt haben muß, die Durchgänge wieder früher zu beobachten, um sich dem zu nähern, was für ganz richtig gehalten wurde, so kann man nicht mehr zweifeln, daß zwischen zwei Beobachtern ein unwillkürlicher beständiger Unterschied stattfinden kann, welcher die Grenzen der zufälligen Unsicherheit weit überschreitet . . . ."

Von diesen Erwägungen ausgehend, unterzog Bessel die Zeitangaben verschiedener hervorragender Astronomen seinerzeit einer vergleichenden Prüfung. Er fand dabei, daß sehr ausgeprägte Differenzen zwischen den Angaben derselben existierten, wobei es sehr bemerkenswert erschien, daß diese Differenzen sich als sehr konstant erwiesen und sich mit der Zeit sehr wenig veränderten. Er kam somit zu dem Schluß, daß kein Beobachter sicher sein kann, richtige Zeitangaben machen zu können, sondern daß diese Angaben mit Fehlern persönlicher Art behaftet sind. Nach Bessel sind diese Fehler von der verschiedenen Geschwindigkeit verursacht, womit Seh- und Gehöreindrücke dem Gehirn vermittelt und dort miteinander verglichen werden.

Die Untersuchungen Bessels wurden später von zahlreichen anderen Forschern aufgenommen und weiter geführt. Diese Forscher waren bis zum Ende des 19. Jahrhunderts fast ausschließlich Astronomen. Wegen der speziellen Anordnung ihrer Arbeiten stehen diese nur in losem Zusammenhang mit der Aufgabe des Verfassers in der vorliegenden Abhandlung, weshalb nur einige derselben kurz erwähnt werden sollen.

J. Hartmann untersuchte i. J. 1858 den Einfluß von verschiedenen Beobachtungsmethoden bei Passagemessungen auf die Größe des Fehlers und konstruierte auch einen Apparat zur Untersuchung des gemachten Fehlers. Er fand dabei, daß die persönliche Neigung zu fehlerhaften Schätzungen nicht vollkommen unveränderlich sei, sondern daß sie von einem zum andern Tag wechselte. Er fand auch, daß diese Neigung zu Schätzungsfehlern bei den verschiedenen Dezimalen verschieden stark ausgeprägt sei. Diese Feststellung ist von großem Interesse, da es — soweit dem Verfasser bekannt — das erste Mal ist, wo wir dem Problem begegnen, das hier näher behandelt werden soll.

Auch Benjamin Peirce beschäftigte sich mit gleichartigen Fragen. Die Verteilung der Schätzungen auf verschiedene Dezimalen wurde von ihm statistisch verfolgt. Er fand dabei, daß die Eigentümlichkeiten dieser Verteilung für jeden Beobachter sehr konstant waren und daß sie in einer fehlerhaften Einteilung des Skalenintervalles („*the timescale*") ihre Ursache haben müßten. Bemerkenswert ist hierbei, daß auch sehr geübte Beobachter in hohem Grade diese Fehler zeigen.

Aus den Untersuchungen von Hartmann und Peirce geht hervor, daß der persönliche Fehler bei Passagebeobachtungen aus einem konstanten und einem mit der Dezimalstelle wechselnden Teil zusammengesetzt zu sein scheint. Während der konstante Teil des Fehlers[1] von einer großen Anzahl von Forschern untersucht worden ist, wurde der mit der Dezimalstelle wechselnde Teil vernachlässigt und deshalb auch allmählich vergessen[2].

Durch F. Boquet (1) wurde i. J. 1889 die Aufmerksamkeit wieder auf diese sogenannte Dezimalgleichung gelenkt.

---

[1] Literaturangaben sind bei A. G. Winterhalter, F. Gonessiat (3) zu finden. Eine nach dem Verfassernamen eingeklammerte Ziffer verweist auf das alphabetische Literaturverzeichnis am Ende dieser Abhandlung.

[2] W. Chauvenet gibt doch in seinem *Manual of Spherical and practical astronomy* aus dem Jahre 1864 eine kurze Besprechung der „*personal scale*" im Anschluß an die Untersuchungen von Peirce.

Die Zifferreihen Boquets sind zusammenfassend in der Tabelle 1 abgedruckt. Diese Tabelle enthält die Schätzungsfrequenz der verschiedenen Dezimalstellen für einige Beobachtungsreihen der Pariser Sternwarte, bezogen je auf etwa 1000 Beobachtungen. Es wäre hierbei zu erwarten, daß die Schätzungen sich gleichmäßig auf die verschiedenen Dezimalstellen verteilen würden. Es geht aber aus der Tabelle 1 hervor, daß dies in keiner Weise der Fall ist, sondern daß gewisse Dezimalstellen in hohem Grade bevorzugt und andere vernachlässigt werden. Untersuchen wir z. B. das Material der Versuchsperson A, so haben wir vier Beobachtungsreihen, die sich über einen Zeitraum von zwei Jahren verteilen. Die Reihe I wurde im Sommer des ersten Jahres, Reihe II im Herbst desselben Jahres, Reihe III im Winter des folgenden Jahres und Reihe IV im Frühling des darauffolgenden Jahres ausgeführt. Trotzdem zeigen die vier verschiedenen Reihen ziemlich dieselbe Verteilung der Schätzungen auf den verschiedenen Dezimalstellen. So sind die Dezimalstellen 2 und 8 folgerecht zu oft geschätzt, während die Dezimalen 4 bis 7 ebenso folgerecht zu selten geschätzt sind. — Die drei Reihen des Beobachters B sind mit verschiedenen Instrumenten während drei verschiedener Jahre ausgeführt. Die Dezimalverteilung der drei Reihen ist indes ziemlich dieselbe, trotz der Verschiedenheit der Instrumente und der Zeit. Dagegen weichen die Reihen des Beobachters B auffallend von denen des Beobachters A ab. — Endlich haben wir zwei Reihen vom Beobachter C, wobei Reihe I während eines Herbstes und Reihe II während der darauffolgenden zwei Winter ausgeführt wurden. Die Dezimalverteilung der beiden Reihen ist auch hier übereinstimmend.

Tabelle 1. Die Schätzungsfrequenzen der verschiedenen Dezimalstellen bei Passagebeobachtungen in Paris (nach Boquet).

| Beobachter | Reihe | Von 1000 Schätzungen wurde die folgende Anzahl zu den verschiedenen Dezimalstellen verlegt | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| A | I | 117 | 122 | 192 | 105 | 29 | 48 | 23 | 59 | 188 | 117 |
| | II | 109 | 112 | 191 | 121 | 51 | 30 | 33 | 59 | 163 | 131 |
| | III | 131 | 101 | 197 | 96 | 26 | 42 | 36 | 51 | 193 | 127 |
| | IV | 103 | 84 | 190 | 121 | 37 | 57 | 23 | 64 | 196 | 125 |
| B | I | 248 | 70 | 91 | 58 | 107 | 87 | 48 | 91 | 98 | 102 |
| | II | 238 | 79 | 102 | 62 | 118 | 95 | 57 | 73 | 90 | 86 |
| | III | 263 | 83 | 117 | 64 | 117 | 72 | 35 | 59 | 97 | 93 |
| C | I | 179 | 74 | 128 | 74 | 46 | 57 | 58 | 117 | 141 | 126 |
| | II | 158 | 83 | 136 | 88 | 54 | 60 | 56 | 108 | 141 | 116 |

In der Zusammenfassung seiner Untersuchung kommt Boquet zu dem Schluß, daß „*une loi d'évaluation de chaque dixième*“ existiert, „*qui ... paraît sensiblement constante pour un même observateur*“, bei den verschiedenen Beobachtern aber verschieden ist. Die Frage, ob die hierdurch entstehenden Fehler vermieden werden können, wird nicht beantwortet.

Der Abhandlung Boquets folgte unmittelbar (1889) eine Arbeit von F. Gonessiat (2), wonach der letzterwähnte Forscher im Jahre 1892 in einem umfassenden Werk die Ergebnisse seiner Untersuchungen über persönliche Einflüsse bei Passagebeobachtungen darlegte. Das Problem wurde hierbei sowohl theoretisch als experimentell behandelt, wobei Gonessiat gleichzeitig einige geschichtliche Auseinandersetzungen zur Beleuchtung desselben lieferte.

G. Lewitzky und P. Brück untersuchten gleichfalls die persönlichen Fehler be Passagebeobachtungen, vor allem die Dezimalgleichung. Es gelang ihnen aber kaun etwas Neues über die älteren Forschungen hinaus zu schaffen. Lewitzky erwähn auch, daß N. Zinger 17 Jahre früher eine Abhandlung über verwandte Fragen ir russischer Sprache herausgegeben hat.

Die persönlichen Fehler bei Passagebeobachtungen sind von ziemlich zusammen gesetzter Natur. Schon Gonessiat (3) war der Ansicht, daß nicht weniger als vie Komponenten in diesen Fehlern zu finden waren. Es erscheint daher am besten, zu erst einige einfachere Beobachtungsreihen näher zu untersuchen und wenn möglich die verschiedenen Fehler getrennt zu behandeln. Das Einfachste würde hierbei sein zunächst die Dezimalgleichung bei feststehendem Index und Skala zu untersuchen Dieser Fall ist auch der für Physiker wichtigste.

So weit dem Verfasser bekannt, dürfte den ersten Anstoß zu diesen Untersuchungen Boquet (2) gegeben haben. Er stellte nämlich die Dezimalgleichung beim Ablesen der verschiedenen Skalen seiner Instrumente fest. Hierbei war also der Einfluß des Ohres ausgeschaltet und die Beobachtungen wurden ganz mit Hilfe des Auges gemacht. Der Index war während der Beobachtung vollkommen fest angebracht Boquet fand, daß auch unter diesen Bedingungen die Frequenzen der verschiedenen Dezimalen keineswegs einander gleich sind.

Auch J. Boccardi machte Untersuchungen über in verschiedener Weise gewonnene Dezimalreihen.

Tabelle 2. Schätzungsfrequenzen für verschiedene Dezimalstellen beim Ablesen von Skalen verschiedener Art (nach Großmann).

| Beobachtungsreihe | Dauer der Versuchsreihe | Von 1000 Schätzungen wurde die folgende Anzahl zu den verschiedenen Dezimalstellen verlegt | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| $A_1$ | 2 Monate | 140 | 175 | 106 | 94 | 84 | 62 | 79 | 63 | 65 | 132 |
| $A_2$ | 1 Monat | 106 | 247 | 140 | 63 | 29 | 97 | 90 | 27 | 49 | 152 |
| $A_3$ | 2 Monate | 119 | 252 | 95 | 74 | 32 | 69 | 84 | 21 | 55 | 199 |
| $B_1$ | 3 „ | 132 | 32 | 180 | 114 | 108 | 79 | 63 | 116 | 94 | 82 |
| $B_2$ | 4 „ | 156 | 22 | 106 | 163 | 99 | 129 | 60 | 106 | 97 | 62 |
| C | 2 „ | 147 | 69 | 95 | 70 | 164 | 71 | 112 | 53 | 152 | 67 |
| $D_1$ | 2 Jahre | 155 | 38 | 180 | 122 | 71 | 60 | 81 | 140 | 134 | 19 |
| $D_2$ | 2 Monate | 119 | 45 | 191 | 129 | 78 | 52 | 89 | 123 | 142 | 32 |
| $D_3$ | 2 „ | 185 | 83 | 125 | 118 | 60 | 44 | 71 | 112 | 114 | 88 |
| E | 3 „ | 81 | 51 | 96 | 102 | 129 | 171 | 161 | 80 | 71 | 58 |
| F | 2 „ | 67 | 11 | 202 | 82 | 159 | 78 | 90 | 97 | 184 | 30 |

Von großem Interesse ist eine Abhandlung von E. Großmann aus dem Jahre 1905. In derselben wird ein großes Versuchsmaterial geliefert (Tabelle 2), ausschließlich Beobachtungsreihen umfassend, die mit stillstehenden Skalen und festem Index ausgeführt sind. Sämtliche Beobachtungsreihen umfassen mehr als je 1000 Dezimalschätzungen Reihe $D_1$ z. B. 4000 Beobachtungen), die Tabelle enthält aber auf 1000 Beobachtungen reduzierte Angaben. Sechs verschiedene Beobachter, mit den Buchstaben A—F bezeichnet, haben an den Untersuchungen teilgenommen. Einige dieser Beobachter haben mehrere Reihen ausgeführt, die durch verschiedene Indices bei dem Beobachterbuchstaben voneinander getrennt gehalten sind. So haben z. B. die Beobachter A und D je drei Reihen ($A_1$—$A_3$ bzw. $D_1$—$D_3$ bezeichnet) und außerdem B zwei Reihen ausgeführt. Die Reihen beziehen sich in den meisten Fällen auf Dezimalschätzungen

beim Ablesen von Meridiankreisen mit Hilfe des Mikroskopes. $D_3$ bezieht sich auf Libellenablesungen und F auf Ablesungen von Chronographenstreifen. Zwischen zwei nacheinander folgenden von A ausgeführten Reihen sind $1^1/_2$ Jahre vergangen, zwischen den Reihen $B_1$ und $B_2$ liegen vier Jahre.

Bei der Durchsicht dieser Tabelle kommt Großmann zu dem Schluß, daß die Verschiedenheiten der Schätzungsfrequenz für verschiedene Dezimalstellen ohne Zweifel von systematischer Art sind, daß also sämtliche Beobachter die Schätzungen fehlerhaft ausführten. Er kann dagegen keine anderen Gesetzmäßigkeiten finden, als daß die niedrigeren Dezimalen 0—4 öfter als die höheren Dezimalen 5—9 geschätzt worden sind (Ausnahme bei E).

Großmann macht den Versuch, sein Versuchsmaterial mathematisch zu behandeln. Er nimmt dabei an, daß die betreffenden Versuchsreihen genügend groß sind, damit die wirklichen Einstellungen als gleichmäßig über das ganze Skalenintervall verteilt worden sind. Von 1000 Schätzungen sollten somit 100 Schätzungen auf jede Dezimalstelle entfallen. Nimmt man jedoch an, daß statt dessen die Dezimalstelle $d$ im $n_d$Falle vorkommt, so kann man folgende Gleichung aufstellen:

$$\sum_{d=0}^{d=9} n_d = 1000. \qquad 1)$$

Die scheinbare Länge $l_n$ jeder Dezimalstelle wird folglich, im Dezimalintervall als Einheit ausgedrückt, folgende Größe erhalten:

$$l_n = n_d : 1000. \qquad 2)$$

Wird das Mittel sämtlicher Dezimalschätzungen genommen, so würde eigentlich der Wert 0,5 herauskommen. Der ungleichförmigen Verteilung der Schätzungen auf den verschiedenen Dezimalen wird ein anderes Mittel entsprechen und die Differenz zwischen 0,5 und dieses Mittel gibt uns die anzubringende Korrektion ($c$) der Reihe. Großmann berechnet diese durch folgende vom Verfasser ein wenig geänderte Gl.:

$$c = 0{,}5 - 0{,}0001\left(\frac{1}{2} n_0 \cdot 10 + \sum_{d=1}^{d=9} d \cdot n_d\right). \qquad 3)$$

Um diese Gleichung[1] zu bekommen, muß Großmann jedoch die Annahme machen, daß die Nullschätzungen sich in gleicher Anzahl zu beiden Seiten des Teilstriches verteilen. Die Nullschätzungen, die vor den Teilstrich fallen, werden somit zu „der Dezimalstelle 10" gerechnet. Ihr Anteil im Mittel bedingt also den ersten Ausdruck innerhalb der Klammer in der Gl. 3).

Werden die verschiedenen Korrektionswerte aus Gl. 3) berechnet, so findet man, daß diese Korrektionen wenigstens in der einen Hälfte der Großmannschen Versuchsreihen recht kleine Beträge annehmen. Bei den Versuchsreihen des Beobachters A aber werden die anzubringenden Korrektionen ziemlich groß; die $c$-Werte dieser Reihen ergeben nämlich $+0{,}0362$, $+0{,}0664$ und $+0{,}0381$ Intervallteile.

Bei vollkommen richtig ausgeführten Dezimalschätzungen sollte das Skalenintervall in zehn gleich große Längsteile geteilt werden. Die Mittelpunkte dieser Längsteile würden somit auf 0,0, 0,1, 0,2 usw. des Skalenintervalles fallen. Die Dezimalschätzung ist jedoch sehr unbefriedigend, was schon aus der ungleichen Schätzungsfrequenz der verschiedenen Dezimalen hervorgeht. Nimmt man mit Großmann an, daß diese Verschiedenheiten systematischer Art sind, so hat man folglich die Ursache

[1] Eine gleichartige Gleichung wurde schon von W. Chauvenet angeführt.

in einer ungleichförmigen Einteilung des Intervalles zu suchen. Die gedachten „Dezimalstriche“ im Intervalle werden also nicht in ihre richtigen Lagen verlegt, sonder sind gegen die eigentlichen Dezimalorte verschoben. Wir nehmen an, daß der Dezimalstrich $d$ um eine Strecke von $S_d$ Skalenintervallen verschoben wird. Bei der darau folgenden Dezimalstelle wird somit die Verschiebung um eine Größe von $[S_d +$ Skalenintervallen angenommen. Wir bekommen in sehr einfacher Weise folgende Zusammenhang:

$$S_{d+1} = S_d + \frac{1}{2} \frac{n_{d+1} + n_d}{1000} - 0,1. \qquad 4)$$

Laut Gl. 4) können wir offenbar neun Gleichungen aufstellen, welche die Zusammenhänge zwischen den Verschiebungen der zehn Dezimalorte angeben. Um da System lösen zu können, wird noch eine Gleichung erforderlich sein. Es muß deshalb eine Annahme gemacht werden „über deren Art sich theoretisch vor der Hand gar nichts aussagen läßt, zumal wir über die Natur des Fehlers noch nichts wissen“. Es liegt aber sehr nahe anzunehmen, daß die Nullschätzungen sich ebenso oft vo als nach dem Teilstriche befinden. Der „Dezimalstrich“ 0 würde also richtig verleg werden, d. h. es wäre $S_0 = 0$. Großmann machte anfänglich diese Annahme. Dieselb führte aber besonders bei der Reihe $A_2$ zu einer berechneten Einteilung des Skalenintervalles, die er als unwahrscheinlich verwarf. Wie aus der Tabelle 3 hervorgeht waren auch die berechneten Verschiebungen sehr groß. Auch bei der Versuchsperson E führte die Annahme zu großen Dezimalverschiebungen. Großmann schloß deshalb, daß die Annahme wenigstens für die Beobachter A und E nicht zutreffend sei.

Tabelle 3. Die berechnete persönliche Einteilung eines Skalenintervalles bei der Versuchsreihe $A_2$ unter der Annahme $S_0 = 0$ (nach Großmann).

| Die wirkliche Lage der Dezimale | Die berechnete Lage der Dezimale |
|---|---|
| 0,000 | 0,000 |
| 0,100 | 0,177 |
| 0,200 | 0,370 |
| 0,300 | 0,472 |
| 0,400 | 0,518 |
| 0,500 | 0,581 |
| 0,600 | 0,675[1] |
| 0,700 | 0,734[1] |
| 0,800 | 0,772[1] |
| 0,900 | 0,872[1] |

Versuchsweise wurde danach die Annahme $\sum S_d = 0$ gemacht. Hierbei bekam Großmann durchgehends niedrigere Werte der Verschiebungen, weshalb er diese Annahme in Ermangelung einer besseren zugrunde legte. — Der Verfasser wird später auf die Berechnungsmethoden Großmanns zurückkommen.

Großmann diskutierte auch die Ursache dieser systematischen Fehler und was man zu tun habe, um dieselben zu vermeiden oder zu vermindern.

Nach Großmann haben mehrere Forscher die Dezimalgleichung behandelt, ohne eigentlich mehr leisten zu können, als das Vorhandensein dieser Fehler festzustellen. Außer den Astronomen haben dabei besonders die Meteorologen aus natürlichen Gründen ihr Interesse diesem Gebiet gewidmet. So haben z. B. A. v. Obermayer, A. Steen, O. Meißner, W. Marten die Schätzung der Bewölkung untersucht, und A. Walter, G. Hellmann, R. Miller, W. Schmidt u. a. sind den Schätzungsfehlern auf anderen meteorologischen Gebieten nähergetreten. Von diesen Forschern suchte auch W. Schmidt seine Frequenztabellen mathemathisch zu behandeln. Er konnte dabei ebensowenig wie Großmann vermeiden, eine willkürliche Annahme zu machen, die jedoch mit keiner der beiden von Großmann gewählten übereinstimmt. Diese werden von Schmidt als unwahrscheinlich abgelehnt. Der Verfasser wird später auf die Untersuchung Schmidts zurückkommen.

[1] Beim Nachprüfen der Angaben dieser Tabelle hat der Verf. gefunden, daß diese für die Dezimalen 0,6—0,9 0,001 Skalenintervalle niedriger als bei Großmann ausfallen müßten.

Auch in der geodätischen Literatur finden sich zahlreiche Untersuchungen, die Beobachtungsfehler behandeln. Besonders in letzter Zeit hat diese Literatur mehrere Beiträge zur Beleuchtung dieser Frage geliefert. So z. B. werden diese Verhältnisse mehrmals von Karl Lüdemann in seinen vielen Abhandlungen über geodätische Fragen berührt. Sehr wertvoll in dieser Hinsicht ist seine Arbeit „Über die mit dem Ausdruck Dezimalgleichung bezeichnete Art von regelmäßigen Fehlern bei der Zehntelschätzung im Zentimeterfelde von Nivellierlatten“. Er gibt in dieser Arbeit eine interessante kritische Zusammenstellung des vorliegenden Materiales und ergänzt es durch eigene umfassende Versuchsreihen. Andere Untersuchungen auf diesem Gebiete stammen von Stampfer, Reinhertz, Kummer, Lorber, Noetzli, Fox, Müller usw. Zu einigen von diesen Arbeiten wird der Verfasser in anderem Zusammenhang zurückkehren.

Von den übrigen Forschern aus verschiedenen Gebieten, die in späterer Zeit die systematischen Schätzungsfehler behandelt haben, mag E. Schottländer erwähnt werden. Er gibt eine sehr interessante Zusammenstellung der Gesetzmäßigkeiten, die er in den Arbeiten älterer Verfasser zu finden glaubt. — Eine andere Untersuchung neuerer Zeit stammt von P. Kirkpatrick. Dieser konstruierte einen besonderen Apparat, bei welchem ein Index gegen ein Skalenintervall von 1 cm Länge verschoben werden konnte. 59 Beobachter machten je 9 Schätzungsversuche mit diesem Instrumente und die Resultate wurden nachgeprüft. Die Genauigkeit wurde dabei beim Mittelpunkte des Intervalles am besten gefunden; die Dezimale 3 und 7 wurden dagegen ziemlich unbefriedigend geschätzt[1]. Durchschnittlich trat auch die Tendenz hervor, die geschätzten Dezimalgebiete gegen die Mitte des Skalenintervalles zu verschieben.

Während der letzten Zeit hat J. Plaßmann in mehreren Zeitschriften säkulare Änderungen des Dezimalschätzungsfehlers festzustellen versucht. Seine Untersuchungen behandeln aber Uhrvergleichungen und liegen deshalb außerhalb des Gebietes der vorliegenden Abhandlung.

Es scheint sehr natürlich, daß — wie hier besprochen — die messenden Wissenschaften: die Astronomie, die Meteorologie, die Geodäsie usw. den Schätzungsfehlern großes Interesse gezeigt haben. Es scheint aber ebenso natürlich, daß die Grundursachen für das Auftreten dieser Fehler in psychologischen und physiologischen Erscheinungen zu suchen sind. In den psychologischen und physiologischen Wissenschaften sind deshalb diese Schätzungsfehler nicht selten behandelt worden. Es genügt vielleicht, die Arbeiten von A. W. Volkmann, M. Bauch und P. Labitzke kurz zu erwähnen.

A. W. Volkmann (2) arbeitete in einer seiner Untersuchungen in folgender Weise: Mit einer Mikrometerschraube wurde ein Index verschoben, bis er ein Skalenintervall in ein gewünschtes Verhältnis, z. B. 0,1, 0,2, usw. teilte. Der Fehler der Einstellung wurde dann an der Mikrometerskala abgelesen. Wenn eine große Menge Einstellungen derselben Dezimale von derselben Versuchsperson ausgeführt wurden, gab das Mittel sämtlicher Einstellungen einen Begriff von der geschätzten Dezimallage, während aus den Differenzen zwischen den verschiedenen Einstellungen und diesem Mittel die Unsicherheit einer Einstellung berechnet werden konnte. — Wie hieraus sichtbar, ist die Methode Volkmanns und die bei wirklicher Dezimalschätzung benutzte Methode voneinander grundsätzlich verschieden. Trotzdem wurden mit der Methode Volkmanns Resultate erzielt, die uns Möglichkeiten geben, über die Ver-

[1] Dies stimmt ganz gut mit zahlreichen Angaben in der geodätischen Literatur überein.

hältnisse bei Schätzungen Schlüsse zu ziehen. Am wertvollsten in der Methode Volkmanns war die Tatsache, daß der Fehler jeder Einstellung unmittelbar festgestell werden konnte.

Mit Hilfe dieser und anderer Methoden wurden einige Fragen beleuchtet, di vom Verfasser in dieser und einer folgenden Abhandlung diskutiert werden sollen.

Nach mehrjährigen Untersuchungen veröffentlichte der Verfasser im Frühling 192 eine Dissertation, die eingehend die Verhältnisse bei der Dezimalschätzung behandel und Methoden zur Berechnung des durchschnittlichen Fehlers einer Beobachtungsreih gab. Die Dissertation verfolgt weiter den Zusammenhang zwischen der Dezimalglei chung und Strichstärke, Intervallgröße, Ablesungsrichtung und Skalenlage, Übung usw Da die Dissertation in schwedischer Sprache (*with a summary in english*) geschrieben ist dürfte sie ziemlich schwer zugänglich sein. In der jetzigen und einer folgenden Ab handlung wird der Verfasser deshalb zum größten Teil schon in der schwedische Abhandlung befindliches Material anführen, ohne jedoch durchgehend nur eine Über setzung derselben zu liefern.

## § 2. Eine neue Methode zur Untersuchung der Dezimalgleichung.

Aus der Literaturübersicht des vorigen Paragraphen geht hervor, daß die Dezi malgleichung zuerst von den Astronomen studiert wurde. Die näheren Umstände hierbe müssen jedoch als besonders ungünstig betrachtet werden und es bieten sich groß Schwierigkeiten, die Ergebnisse zu verwerten. Viel einfacher wird die Aufgabe, wenn man sich darauf beschränkt, die Dezimalgleichung bei Skalen mit während de Beobachtung festem Index zu untersuchen. Dieser Fall bietet auch ein viel allgemeineres Interesse. Leider wurde erst ziemlich spät in dieser Problemänderung das Geeignete gefunden und auch danach sind die endgültigen Resultate ausgeblieben. Die Ursache hierzu liegt in der hauptsächlich benutzten Arbeitsmethode. Wie früher beschrieben, haben die meisten Forscher ihr Zahlenmaterial aus langen Beobachtungsreihen zusammengestellt, die zu anderen Zwecken mit verschiedenen Instrumenten gewonnen sind. Sie haben dabei notiert, wie oft jede Dezimalstelle geschätzt worden ist und so eine Frequenztabelle bekommen, die später diskutiert und bzw. statistisch-mathematisch bearbeitet wird. Diese Methode zeigt folgende Schwächen:

1. Um sicher zu sein, daß die gemachten Einstellungen wirklich über das ganze Skalenintervall gleichmäßig verteilt sind, müssen sehr umfangreiche Beobachtungsreihen gesammelt werden. Der einzelne Forscher kann deshalb nicht mehrere Reihen liefern, die unter veränderten Umständen ausgeführt sind.

2. Die Schätzungsfehler der einzelnen Beobachtungen sind nicht bekannt. Be der mathematischen Bearbeitung der Reihe muß deshalb immer eine mehr oder weniger willkürliche Annahme gemacht werden.

Aus diesen Gründen haftet eine erhebliche Unsicherheit an allen Resultaten, die aus den früheren Untersuchungen hervorgegangen sind. Man kann deshalb ohne allzu große Übertreibung sagen, daß die älteren Arbeiten nur soviel mit Sicherheit gezeigt haben, daß systematische Fehler bei den Dezimalschätzungen wirklich vorhanden sind. Einer der wenigen Forscher, die sichere Resultate bekommen haben, ist Volkmann (2). Seine Untersuchungsmethode war aber wesentlich von dem Verfahren bei wirklichen Dezimalschätzungen in der Praxis verschieden. Es ist daher bezeichnend, daß wir trotz der sehr umfangreichen Literatur auf diesem Gebiet in der Tat so außerordentlich wenig von der Dezimalgleichung wissen, wenigstens mit einiger Sicherheit. Mehrere

der neuesten Verfasser dieses Gebietes haben auch diese Unsicherheit stark betont. So schreibt u. a. K. Lüdemann (6) beim Diskutieren einiger älterer Arbeiten:

„daß für jede Fehlerberechnung mindestens eine Annahme zugrunde gelegt werden muß, deren Wahrscheinlichkeitsgrad für die Zulässigkeit und Sicherheit der Fehlerbestimmung entscheidend ist“. (S. 116.)

Weiter in derselben Abhandlung sagt er:

„Es ist ferner zu beachten, daß die Dezimalgleichung eines Beobachters für verschiedene Arten von Beobachtungen ebenfalls nicht unveränderlich ist, daß vielmehr sehr erhebliche Abweichungen festgestellt sind. Welche Rolle hierbei die Größe, Begrenzung, Farbe, Gestalt und Lage des Intervalls und die Art, Stärke und Lage des Zeigerstriches spielen, ist vorläufig noch unbekannt.“ (S. 117.)

E. Schottländer schreibt:

„Man findet in der Literatur über Schätzungen und Schätzungsfehler häufig Gesetze aufgestellt, die einander widersprechen und wenn man alle diese Angaben nebeneinander stellt, so muß man sagen, daß eine Klärung bisher nicht erfolgt ist ....“ (*Diese Zeitschr.* **43**. *S. 265. 1923.*)

Gleichartige Aussagen finden wir weiter bei C. Müller, A. Noetzli und P. Labitzke (1).

Als der Verfasser diese Untersuchung anfing, war er deshalb bestrebt, eine Versuchsanordnung zu finden, bei welcher die Verhältnisse so wenig als nur möglich von denen bei wirklichen Dezimalschätzungen in der Praxis abweichen und die außerdem schon bei geringer Anzahl von Beobachtungen genügend gleichmäßige Verteilung der Einstellungen einer Reihe zeigt. Ein dritter Wunsch von großer Bedeutung war, daß der Fehler jeder Schätzung genau festgestellt werden konnte, um eine sichere mathematische Bearbeitung des Materiales zu ermöglichen.

Der Verfasser hat dieses Problem in folgender Weise zu lösen gesucht:

Mittels Teilmaschine wurden auf feinen glatten Kartonstücken vollkommen gleichartige Skalen gezeichnet. Das Mittelintervall dieser Skalen (s. Abb. 1) war durch einen Strich in zwei Teile geteilt. Anfänglich wurden 100 solche Karten gemacht, bei welchen der Indexstrich vom Mittelintervall 0,01, 0,02, 0,03 usw. desselben abschnitt. Hierdurch wurde eine vollkommen gleichmäßige Verteilung der „Einstellungen“ herbeigeführt. Die Karten wurden gemischt. Jede Karte trug hinten eine Zifferbezeichnung, wodurch die wirkliche Einteilung der betreffenden Kartenskala aus einer Schlüsseltabelle abgelesen werden konnte. Nach einer Schätzung wurde also die Möglichkeit gegeben, den Schätzungsfehler zu bestimmen.

Abb. 1. Karte der Skalenreihe *AB*. 0,8 nat. Gr.

Ein Versuch verlief in folgender Weise. Zuerst wurden die Karten gemischt. Die Versuchsperson schätzte dann die Teilung der verschiedenen Kartenskalen und notierte in einem Protokoll die geschätzten Werte. Danach konnte der Verfasser mit Hilfe seiner Schlüsseltabelle die Fehlerwerte an verschiedenen Stellen des Skalenintervalles feststellen und die eventuell nötigen mathematischen Berechnungen durchführen.

Es dürfte klar sein, daß dieser Vorgang und dieses Skalenmaterial die früher besprochenen Forderungen erfüllt: Die genaue Teilung der Skala ist bei jeder Karte bekannt, die Verteilung der Einstellungen ist gleichmäßig, weshalb nur kurze Beobachtungsreihen erforderlich sind und außerdem schließt sich die Beobachtungsmethode der Praxis nahe an. Es scheint nur vorteilhaft zu sein, daß Parallaxe und andere bei wirklichen Meßinstrumenten vorkommende sekundäre Fehlerquellen hier nicht vorhanden sind. Der Verfasser beabsichtigte ja die primären Faktoren der Fehlererscheinungen zu ermitteln.

Eine große Menge Kartenreihen von verschiedenem Typus wurden hergestellt um verschiedenen Problemen der Dezimalgleichung zu genügen. So wurden Kartenreihen mit verschiedenen Strichdicken, verschiedenen Intervallgrößen usw. ausgeführt Die Untersuchungen wurden mit mehr als 100 Personen durchgeführt. Diese waren zumeist Studenten der K. Technischen Hochschule zu Stockholm. Auch eine Anzahl geübterer Observatoren des Physikalischen Instituts der Universität zu Stockholm nahmen daran teil. Mehrere Hunderte von Versuchen wurden gemacht und die Untersuchungen erstrecken sich über eine Zeit von mehr als zehn Jahren. Hierdurch bekam der Verfasser ein umfassendes Beobachtungsmaterial, das mit älteren Methoden wahrscheinlich nicht hätte zusammengebracht werden können.

Um die hergestellten Skalen zu prüfen, wurden einzelne derselben als Stichproben herausgenommen und mittels Teilmaschine oder Koordinatenmikroskop näher geprüft Die Genauigkeit wurde hierbei stets genügend befunden. Um dies zu zeigen, sind in der Tabelle 4 eine Anzahl solcher Stichproben aufgenommen. Die Zahlen geben die Teilung des Mittelintervalles durch den Index an.

Tabelle 4. Genauigkeitsproben einiger Kartenskalen.

| Bezeichnung der Karte | Die Teilung des Skalenintervalles nach den Messungen: Die einzelnen Meßresultate | | | | Der Mittelwert | Die Teilung des Skalenintervalles laut der Schlüsseltabelle |
|---|---|---|---|---|---|---|
| X : 21 | 0,500 | 0,495 | 0,485 | 0,490 | 0,492 | 0,49 |
| X : 45 | 0,898 | 0,896 | 0,907 | 0,901 | 0,900 | 0,90 |
| Y : 5 | 0,335 | 0,333 | 0,331 | 0,330 | 0,332 | 0,33 |
| Y : 40 | 0,288 | 0,287 | 0,282 | 0,282 | 0,285 | 0,29 |
| Z : 11 | 0,328 | 0,330 | 0,327 | 0,326 | 0,328 | 0,33 |
| Z : 40 | 0,542 | 0,544 | 0,538 | 0,537 | 0,540 | 0,54 |
| Å : 39 | 0,501 | 0,501 | 0,507 | 0,496 | 0,501 | 0,50 |
| Å : 32 | 0,624 | 0,614 | 0,621 | 0,616 | 0,619 | 0,62 |

Wie aus der Tabelle hervorgeht, sind die Differenzen zwischen den Meßresultaten und den Schlüsselwerten durchweg sehr klein. Es mag in diesem Zusammenhang daran erinnert werden, daß eine exakte Messung des Abstandes zwischen zwei Strichen nicht ganz einfach ist, da bei der nötigen Vergrößerung die Ränder der Striche nicht vollkommen scharf und gerade, sondern ein wenig ungleichmäßig hervortreten. Deshalb sind auch bei jeder Prüfung vier Messungen gemacht worden, deren Mittelwert mit dem Schlüsselwert verglichen wurde. In der Tat dürfte die sorgfältige Herstellung mit der Teilmaschine bessere Gewähr für die Genauigkeit bieten als die nachherige Prüfung.

Über die verschiedenen Kartenreihen werden später nähere Mitteilungen im Zusammenhang mit der Beschreibung ihrer Anwendung gegeben. Es soll jedoch schon jetzt ausdrücklich erwähnt werden, daß nur „symmetrische“ Skalen untersucht

worden sind, d. h. Skalen, deren sämtliche Intervalle in Hinsicht auf die Intervallgröße, Strichdicke, Farbe usw. einander gleich sind und bei denen der Index gleichartige Abgrenzung nach beiden Seiten besitzt. Hierdurch werden z. B. die Thermometerablesungen vorübergehend außerhalb des Kreises dieser Untersuchungen verlegt. Bei Thermometern besteht ja der Index aus einer gekrümmten Flüssigkeitsgrenze und außerdem befindet sich an der einen Seite des Indexes die Flüssigkeit von verschiedener Farbe gegenüber der Skala an der anderen Seite.

## § 3. Die ersten Resultate. Die Verteilung der Schätzungen auf verschiedene Dezimalstellen.

Die zuerst hergestellte Kartenreihe enthielt 100 Karten, die durchgehend von dem in Abb. 1 veranschaulichten Typus waren. Jedes Skalenintervall an diesen Karten betrug 2 mm. Die Teilstriche waren 3,2 mm lang und 0,11 mm dick; die Indexstriche waren 10,5 mm lang und ihre Breite mit der Breite der Teilstriche übereinstimmend. Die Kartenreihe wurde mit A—B bezeichnet, da sie später in zwei Teilreihen A und B zerlegt wurde.

Mit Hilfe der Kartenreihe A—B wurden zuerst von der Versuchsperson Bm. zehn Versuche während eines Zeitraumes von zwei Tagen (15. und 16. Oktober 1917) ausgeführt. Die Karten wurden hierbei schnell abgelesen, doch war die Geschwindigkeit nicht vollkommen gleichmäßig. Aus diesen Versuchsreihen wurden dann die Schätzungsfrequenzen der verschiedenen Dezimalstellen bestimmt. Das Ergebnis hiervon geht aus der Tab. 5 hervor. Folgende Gesetzmäßigkeiten sind unmittelbar hervortretend:

Tabelle 5. Die Schätzungsfrequenzen der verschiedenen Dezimalstellen (in Prozent von der ganzen Schätzungszahl angegeben). Skalentypus: AB. Versuchsperson: Bm.

| Bezeichnung der Versuchsreihe | Von 100 Schätzungen wurde folgende Anzahl zu den verschiedenen Dezimalstellen verlegt | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | 13 | 4 | 23 | 8 | 4 | 6 | 7 | 9 | 20 | 6 |
| 2 | 12 | 6 | 23 | 7 | 5 | 4 | 7 | 7 | 23 | 6 |
| 3 | 10 | 6 | 23 | 9 | 6 | 3 | 5 | 10 | 20 | 8 |
| 4 | 12 | 6 | 22 | 9 | 4 | 3 | 6 | 11 | 21 | 6 |
| 5 | 13 | 6 | 23 | 8 | 5 | 5 | 5 | 8 | 24 | 3 |
| 6 | 13 | 7 | 21 | 8 | 6 | 3 | 4 | 8 | 24 | 6 |
| 7 | 13 | 7 | 21 | 8 | 5 | 5 | 4 | 9 | 23 | 5 |
| 8 | 13 | 7 | 23 | 7 | 5 | 4 | 4 | 9 | 22 | 6 |
| 9 | 13 | 7 | 22 | 7 | 6 | 4 | 5 | 11 | 21 | 4 |
| 10 | 13 | 6 | 23 | 7 | 6 | 4 | 6 | 9 | 20 | 6 |
| Im Mittel: | 12,5 | 6,2 | 22,4 | 7,8 | 5,2 | 4,1 | 5,3 | 9,1 | 21,8 | 5,6 |

1. Die verschiedenen Dezimalstellen besitzen verschiedene Schätzungsfrequenzen.

2. Die Variationen in den Schätzungsfrequenzen sind bei sämtlichen Reihen dieselben.

Die Anzahl der Schätzungen einer bestimmten Dezimalstelle ist folglich durchgehend konstant. So wurde 0,1 in der ersten Reihe 4 mal und in sämtlichen folgenden Reihen je 6 oder 7 mal geschätzt. 0,2 wurde durchgehend 23 mal geschätzt, wenn 4 Fälle mit den Schätzungszahlen 22 und 21 ausgenommen werden. In derselben Weise hält sich die Anzahl der Schätzungen 0,3 in den verschiedenen Reihen zwischen 7 und 9, die Anzahl der Schätzungen 0,4 zwischen 4 und 6 usw.

3. Zu dem Teilstriche symmetrisch gelegene Dezimalstellen werde fast gleich häufig geschätzt.

So wurden z. B. die Dezimalen 0,1 und 0,9 etwa je 6 mal (im Mittel 6,2 bzw 5,6 mal) geschätzt, die Dezimalen 2 und 8 je 22 mal (im Mittel 22,4 bzw. 21,8 mal Weiter wurden 0,3 und 0,7 je 7,8 und 9.1 mal als Mittel sämtlicher Reihen und i derselben Weise 0,4 bzw. 0,6 je 5,2 bzw. 5,3 mal geschätzt.

Die Dezimalen 0 und 0,5 ausgenommen, werden also die übrigen Dezi malen paarweise gleich oft geschätzt.

Die symmetrische Verteilung der Schätzungen geht besonders deutlich aus de graphischen Darstellungen hervor, wenn man die Schätzungsfrequenzen als Funktio

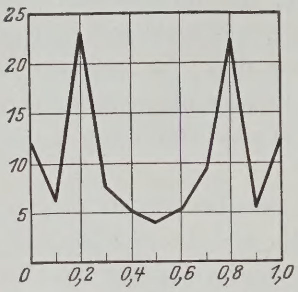



Abb. 2. Dezimalfrequenzkurve der Versuchsreihen 1—10 (im Mittel).

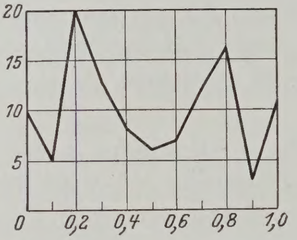



Abb. 3. Dezimalfrequenzkurve der Versuchsreihe Nr. 303.

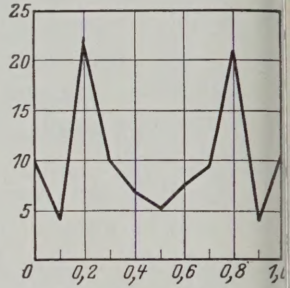



Abb. 4. Dezimalfrequenzkurve de Versuchsreihen 305—309 (im Mittel

der geschätzten Dezimalstelle aufträgt. Die Abb. 2 ist in dieser Weise zustande gekommen; sie zeigt die Frequenzkurve (im Mittel) der Versuchsreihen 1 bis 10. Di Dezimalstelle Null ist dabei 2 mal aufgestellt, um die Symmetrie zur Dezimale 0, besonders deutlich zu betonen.

Es geht somit klar hervor, daß die betreffende Versuchsperson bei den Dezimal schätzungen Fehler machte, welche sich wenigstens während einer zweitägigen Period ziemlich konstant verhielten. Um den Einfluß der Zeit näher zu prüfen, wurde 6 Jahr später (26. VI. 1923) eine neue Versuchsreihe von derselben Versuchsperson und mi denselben Karten ausgeführt. Das Resultat dieser Reihe (Nr. 303) geht aus der Abb. hervor. Es zeigt sich, daß die Frequenzkurve dieser Reihe mit der Kurve der Reihen bis 10 ziemlich gut übereinstimmt. Endlich wurden im Jahre 1927, d. h. nach noc 4 Jahren, also 10 Jahre später als die Reihen 1 bis 10, noch 5 Reihen (Nr. 305 bi 309) unter gleichartigen Umständen ausgeführt. Die Mittelwerte der Schätzungs frequenzen verschiedener Dezimalstellen sind in der Abb. 4 angegeben und mittel Strichen zu einer Frequenzkurve vereinigt. Die Übereinstimmung dieser neuen Kurv mit der früheren Abb. 2 ist besonders überzeugend. Da zwischen den Reihen 1 bi 10 und 305 bis 309 10 Jahre verflossen sind, so dürften wir zur folgenden Behauptung wohl berechtigt sein:

4. Die systematischen Fehler bei der Dezimalschätzung bleiben wäh rend langer Zeit konstant.

Zur Vergleichung mit diesen Frequenzkurven, die sich auf Untersuchungen mi der Skalenreihe A—B beziehen, wurden auch Schätzungsreihen an wirklichen Meß instrumenten gemacht. In den Abb. 5 und 6 sind solche Frequenzkurven eingetragen sie beziehen sich auf dieselbe Versuchsperson Bm. wie die Kurven Abb. 2 bis 4. Di erste dieser Kurven (Abb. 5) gibt die Verhältnisse bei Schätzungen an einer Rechen scheibe an, wobei ein Gebiet mit etwa 1 mm langen Skalenintervallen gewählt wurde 1000 Einstellungen und Schätzungen liegen dieser Kurve zugrunde. Die Zahlenangaben

ind aber in Prozent der ganzen Anzahl der Schätzungen gegeben. In Abb. 6 wieder-
ım sind die Verhältnisse der Dezimalschätzungen bei Galvanometerablesungen (Fern-
ohr und Skala) wiedergegeben. Diese wurden im Mai 1917 bei einer Galvanometer-
ıntersuchung außer Zusammenhang mit den hier behandelten Fragen ausgeführt und
ntsprechen somit tatsächlichen Mes-
ungen. Diese Reihe umfaßte 1252
Beobachtungen. Die Angaben in der
ıbbildung sind jedoch wie früher in
Prozent der ganzen Anzahl von Schät-
ungen gegeben. Durch Vergleichung
er Abb. 5 und 6 mit den Abb. 2 und 4
vird der folgende Schluß gezogen:

5. Mit verschiedenen In-
trumenten wie auch mit den
Kartenskalen erhaltene Fre-
uenzkurven derselben Ver-
uchsperson sind einander im
vesentlichen gleich.

Die Übereinstimmung bezieht
ich aber nur auf die hauptsächliche
Gestalt der Kurven, nicht aber auf
ie Einzelheiten. Wie der Verfasser
ı einem anderen Zusammenhange
eigen wird, ändern sich die persön-
chen Fehler der Dezimalschätzungen
ehr gesetzmäßig bei Änderung des
kalentypus.

Sämtliche in diesem Paragra-
hen bisher gezogenen Schlüsse be-
iehen sich auf eine einzige Versuchs-
erson. Es wurden jedoch zahlreiche
leichartige Versuche mit anderen
Beobachtern ausgeführt, die durch-
ehend die hier gefundenen Gesetz-
ıäßigkeiten bestätigten. Wir können
iese Erfahrung in folgender Weise
ormulieren:

6. Die hier besprochenen Ge-
etze 1 bis 5 besitzen allgemeine
Gültigkeit. Was aber die Gestalt
er Frequenzkurven betrifft, so wechselt diese mit der Versuchsperson.

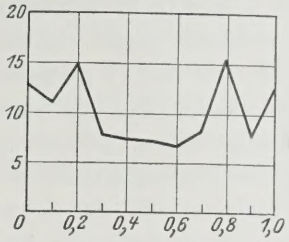


Abb. 5. Dezimalfrequenzkurve bei Schätzungen an einer Rechenscheibe.

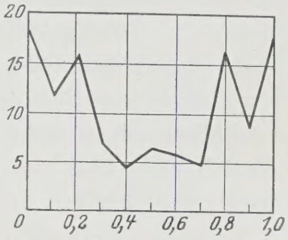


Abb. 6. Dezimalfrequenzkurve bei Schätzungen von Galvanometerablesungen.

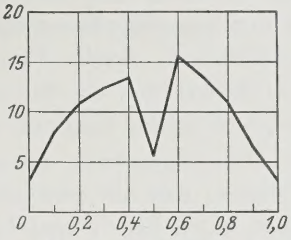


Abb. 7. Frequenzkurve der Reihe 12.

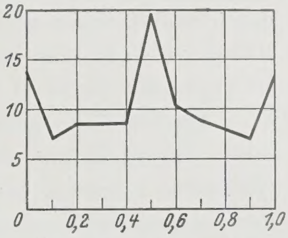


Abb. 8. Frequenzkurve der Reihe 25.

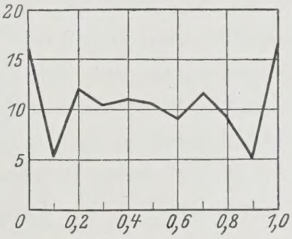


Abb. 9. Frequenzkurve der Reihe 31.

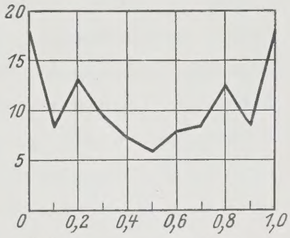


Abb. 10. Frequenzkurve der Reihe 41.

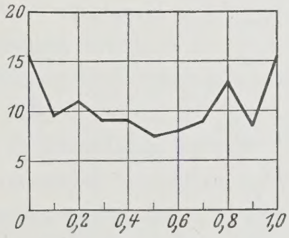


Abb. 11. Frequenzkurve der Reihe 55.

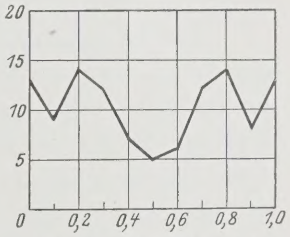


Abb. 12. Frequenzkurve der Reihe 301.

Die systematischen Fehler, die bei der Schätzung von Dezimalen begangen
verden, sind also persönlicher Art.

Um die letzte Behauptung näher zu begründen, sind in den Abb. 7 bis 12 einige
Frequenzkurven verschiedener Versuchspersonen ausgeführt. Sie unterscheiden sich
n hohem Grade voneinander, was den Typus betrifft, haben aber sämtlich symmetrische
Grundform. Die kleinen Abweichungen hiervon, die sich hier und da zeigen, sind zu-
älliger Art; jede Kurve bezieht sich nämlich nur auf 100 Schätzungen.

Eine Durchsicht der Frequenztabellen in der Literatur zeigt, daß die hier b obachteten Gesetzmäßigkeiten 1 bis 4 auch anderwärts deutlich hervortreten. W besonders die Unveränderlichkeit der Erscheinung betrifft, so wird dieselbe oft v den verschiedenen Forschern hervorgehoben. Dagegen scheint die Symmetrie d Schätzungsfrequenzen keineswegs in ausgeprägterem Grade wahrgenommen worden z sein. Nur die Geodäten scheinen diesen Umstand klar bemerkt zu haben. Die U sache dafür, daß die Symmetrie nur in geringem Maße beobachtet worden ist, wir vermutlich zum Teil darin liegen, daß die vorliegenden verhältnismäßig kurzen B obachtungsreihen nicht genügt haben, um eine gleichmäßige Verteilung der Instrumen einstellungen über das ganze Skalenintervall zu bewirken. Eine andere Ursache lie darin, daß sich viele Frequenztabellen der Literatur sich auf Thermometerablesunge und andere Beobachtungen unsymmetrischer Art beziehen; bei derartigen Schätzunge bekommt man nämlich, wie der Verfasser in seiner Dissertation gezeigt hat, keine wegs eine symmetrische Verteilung der Dezimalschätzungen. Die Frequenztabelle der Literatur zeigen auch im allgemeinen keine ausgeprägte Symmetrie; nur in einzelne Fällen ist diese klar hervortretend. Solche Fälle sind u. a. die Reihen A und C b Boquet, die Reihe D bei Lewitzky, die Reihen $D_1$—$D_3$ bei Großmann usw.

Die Geodäten haben, wie bereits bemerkt, eine klarere Auffassung der symmetr schen Eigenschaften der Dezimalgleichung gezeigt. Zahlreiche Angaben in der b treffenden Literatur behaupten, daß die Schätzungsfehler nahe am Teilstriche und a der Intervallsmitte ziemlich klein, bei $^1/_4$ und $^3/_4$ der Intervalle dagegen relativ gro sind. Auf Grund dieser Symmetrie in den Schätzungen müssen die Fehler hierb entgegengesetzte Zeichen an beiden Seiten der Intervallmitte bekommen. Um di Fehler zu eliminieren, versuchte man eine Anordnung von zwei Indizes, die in solche Abstand voneinander belegen waren, daß der Unterschied außer einer ganzen Anza Intervalle noch dazu ein halbes Intervall betrug. Durch trigonometrische Gleichunge suchte man weiter die Fehlerkurven auszugleichen. Wie aus den hier veröffentlichte Frequenzkurven und den in dem nächsten Paragraphen folgenden Auseinandersetzunge muß dies als allzugroße Vereinfachung der wirklichen Verhältnisse betrachtet werden

Ein Versuch, statistisch zu erforschen, ob eine allgemeine Vorliebe gewisse Dezimalen vorliegt, gab folgendes Resultat:

Bei der Skalenreihe A—B sind im großen und ganzen die Dezimalen 0,0, 0, und 0,8 überschätzt worden. So fielen auf 0,0 nicht weniger als 13,5 % aller Schätzunge auf 0,2 fielen 12,3 % und auf 0,8 jedoch 11,6 % aller Schätzungen. Dagegen wurde die Dezimalen 0,1 und 0,9 seltener geschätzt. (7,2 bzw. 7,5 % sämtlicher Schätzungen. Auch die nahe an der Intervallmitte liegenden Dezimalen 0,4, 0,5 und 0,6 wurde ein wenig unterschätzt. Die Schätzungsfrequenzen waren im Mittel 9,4, 8,8 und 9,3% Die Schätzungszahlen der Dezimalen 0,3 und 0,7 sind mit den Werten 10,1 bzw. 10,3 ziemlich normal ausgefallen. An dieser Untersuchung nahmen 32 Personen teil.

Ganz verschiedene Resultate wurden aber mit Skalen von anderer Anordnun bekommen. So gab z. B. eine Kartenreihe D mit 4 mm Intervallgröße die größt Überschätzung bei den Dezimalen 0,3 und 0,7, deren Frequenz je 13,2 % waren. Stat dessen zeigten die Dezimalen 0,2 und 0,8 jetzt mehr normale Frequenz (10,8 %). Mi dieser Kartenreihe wurden 18 Personen untersucht.

Mit anderen Kartenreihen wurden noch andere Resultate bekommen. Wie i einem anderen Zusammenhang[1] gezeigt wird, ändert sich der persönliche Fehler vol

[1] Siehe auch die Dissertation des Verfassers, Kap. IX—XIII.

kommen gesetzmäßig bei Änderung des Skalentypus. Die hier mitgeteilten statistischen Angaben mögen als erste Andeutung hierzu betrachtet werden.

Über die Bevorzugung gewisser Dezimalen gibt es eine sehr umfangreiche Literatur. So hat z. B. Bauch u. a. umfassende Versuche gemacht, Gesetzmäßigkeiten in dieser Hinsicht zu finden. Mehrmals hat man auch geglaubt, die verschiedenen Frequenzen der Dezimalen wären auf eine verschiedene Vorliebe für gewisse Ziffern zurückzuführen. Der Verfasser hat in einer noch nicht veröffentlichten Untersuchung gefunden, daß dies nicht zutreffend ist, wenn auch in dieser Hinsicht sehr interessante Verhältnisse herrschen. Soviel kann aber schon jetzt gesagt werden, daß die ganze Problemstellung auf diesem Gebiet früher wenig günstig war.

(Fortsetzung folgt.)

---

# Ermittlung zusammengehöriger Objekt- und Bildpunkte vermittels des Kardanproblems.

Von

Oberingenieur **K. Hoecken** in Berlin.

Die gegenseitige Abhängigkeit der in der bekannten optischen Abbildungsgleichung

$$\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f} \qquad 1)$$

vorkommenden Größen (Gegenstandsweite $a$, Bildweite $b$ und Brennweite $f$) läßt sich durch eine einfache geometrische Konstruktion veranschaulichen, die in Abb. 1 wiedergegeben ist.

Wenn drei von einem Punkte $O$ ausgehende, die Winkel $\alpha$ und $\beta$ miteinander bildende Strahlen $OA$, $OB$ und $OC$ von einer Geraden geschnitten werden, so stehen die auf den Strahlen gebildeten, hier mit $a$, $b$ und $c$ bezeichneten Abschnitte in einer leicht zu ermittelnden Abhängigkeit, die bei bestimmten Werten der Winkel $\alpha$ und $\beta$ der Gl. 1) entspricht. Bezeichnet man noch den Schnittwinkel der Geraden mit dem mittleren Strahl $OC$ mit $\delta$, so ist

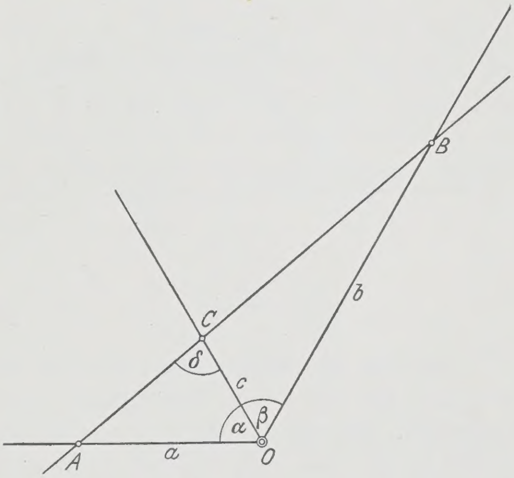


Abb. 1.

$$\frac{a}{b}=\frac{\sin(\delta-\beta)}{\sin(\delta+\alpha)} \quad \text{und} \quad \frac{c}{b}=\frac{\sin(\delta-\beta)}{\sin\delta},$$

woraus man erhält

$$\frac{a}{b}=\frac{\cos\beta-\operatorname{ctg}\delta\sin\beta}{\cos\alpha+\operatorname{ctg}\delta\sin\alpha} \quad \text{und} \quad \frac{c}{b}=\cos\beta-\operatorname{ctg}\delta\sin\beta.$$

Durch Elimination von $\operatorname{ctg}\delta$ ergibt sich hieraus nach einiger Umformung schließlich

$$ab\sin(\alpha+\beta)=c\,(a\sin\alpha+b\sin\beta),$$

oder

$$\frac{\sin\beta}{a}+\frac{\sin\alpha}{b}=\frac{\sin(\alpha+\beta)}{c}.$$

Setzt man hierin $\alpha = \beta = 60^0$, so wird

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{c}. \qquad 2)$$

Identifiziert man Gl. 2) mit 1), so ist ersichtlich, wenn $c = f$ gemacht wird, daß dann jeder Lage der Schnittgeraden ein zusammengehöriges Wertepaar $a$, $b$ auf den beiden äußern Strahlen entspricht.

Diese zu nomographischen Darstellungen häufig verwendete Methode der fluchtrechten Punkte gibt in diesem Falle die veränderlichen Größen zwar in linearem Maßstabe unmittelbar an, aber nicht auch in einer dem hier zugrunde liegenden physikalischen Zusammenhang entsprechenden gegenseitigen Lage, da Gegenstands- und Bildweite einen Winkel $AOB = 120^0$ einschließen, während sie bei dem optischen Vorgang einen solchen von $180^0$ bilden.

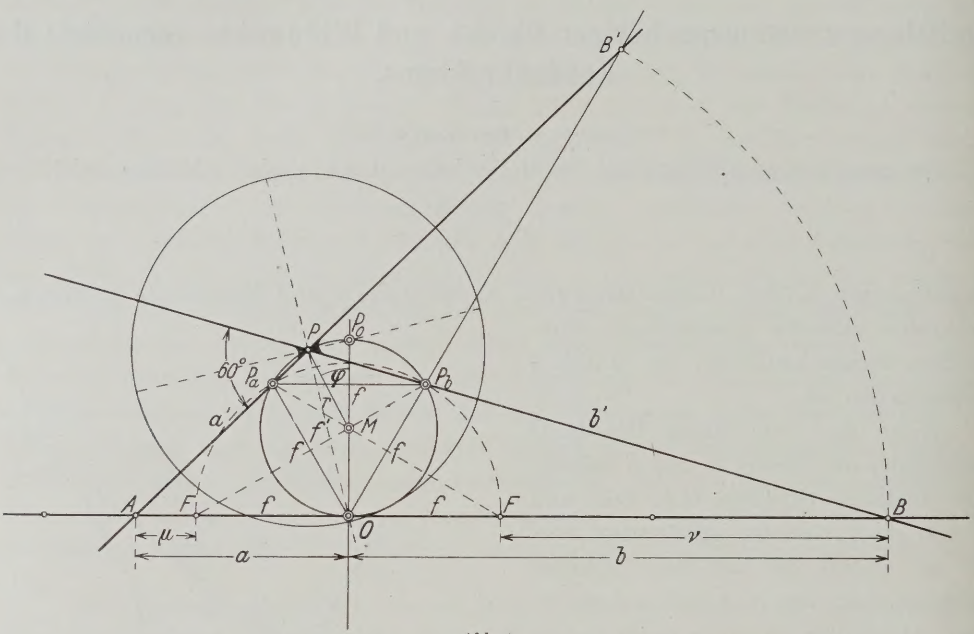



Abb. 2.

Es liegt nun nahe, diesen Zustand durch eine Drehung des $\triangle\, OCB$ um $O$ zu erreichen, bis $OB$ in die Verlängerung von $AO$ fällt. Dieser Vorgang ist in Abb. 2 dargestellt. Das dem $\triangle\, OCB$ entsprechende $\triangle\, OP_aB'$ ist hier um den Winkel $P_aOP_b = 60^0$ in die Lage $OP_bB$ gedreht. Seine Seite $P_bB$ ist gleich dem Stück $P_aB'$ der ursprünglichen Schnittlinie $AP_aB'$, die jetzt durch diese Drehung in zwei Stücke $AP_a$ und $P_bB$ zerfällt, die sich in ihrer Verlängerung im Punkte $P$ unter dem der Drehung entsprechenden konstanten Winkel $P_bPB' = 60^0$ schneiden. Statt der einen sich im Schnittpunkt $C$ drehenden Ablesegeraden $AB$ der Abb. 1 sind nunmehr zwei, einen konstanten Winkel einschließende Ablesestrahlen vorhanden, die sich für andere Werte von $a$ und $b$ durch die Punkte $P_a$ und $P_b$ verschieben.

Der geometrische Ort, den ihr Schnittpunkt $P$ bei dieser Verschiebung beschreibt, ist ein Kreis, in welchem die feste Strecke $P_aP_b$ eine Sehne ist, über der der konstante $\sphericalangle P_aPP_b$ oder sein Supplementwinkel $P_bPB'$ Peripheriewinkel sind. Sein Mittelpunkt $M$ ist der Schnittpunkt der von den Punkten $P_a$ und $P_b$ nach den Brennpunkten $F$ gezogenen Geraden, während sein Halbmesser $r = \frac{f}{3}\sqrt{3}$ ist. Die Punkte $P_a$

und $P_b$ liegen auf einem mit dem Halbmesser $f$ um $O$ beschriebenen Kreise und haben untereinander sowie auch von $O$ und den Brennpunkten $F$ die gleiche Entfernung $f$.

Rein bewegungsgeometrisch betrachtet, ist nun diese Verschiebung ein Sonderfall einer in der Phoronomie unter der Bezeichnung Kardanproblem[1] behandelten Aufgabe.

Danach läßt sich jede derartige Bewegung, die durch Gleiten der Endpunkte einer Strecke von konstanter Länge auf den Schenkeln eines festen Winkels oder umgekehrt zustande kommt, auch durch gegenseitiges Abrollen zweier Kreise (Polbahnen) mit dem Halbmesserverhältnis 1 : 2 hervorrufen. Im vorliegenden Falle ist der kleinere, feststehende der vorbeschriebene Kreis um $M$ mit dem Halbmesser $r$, während der doppelt so große Kreis mit dem Halbmesser $2r$ um $P$ beschrieben ist. In diesem entsprechen die Ablesestrahlen zwei festliegenden Durchmessern. Diese beiden Kardan-Kreise berühren sich dauernd auf der Verlängerung der Zentralen $PM$ und rollen während der Strahlenverschiebung ohne Gleitung aufeinander ab, wobei im vorliegenden Falle der große Kreis sich um den kleinen herumwälzt, wie dies in Abb. 3 und 4 veranschaulicht ist.

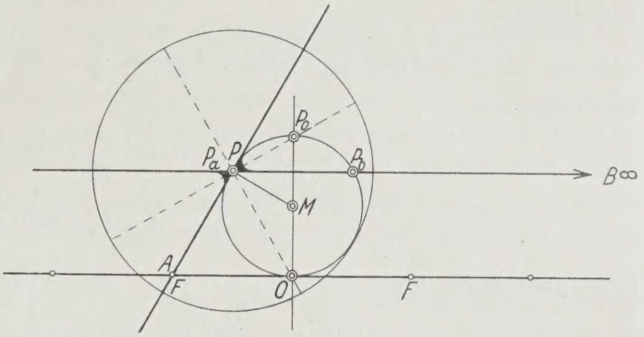


Abb. 3.

Ebenso wie die Ablesestrahlen ständig durch die Punkte $P_a$ und $P_b$ gleiten, werden dann die senkrecht zueinander stehenden Winkelhalbierenden des Strahlenpaares durch die festen Endpunkte $O$ und $P_0$ des zur optischen Achse senkrechten Durchmessers des kleinen Kardankreises gleiten, wobei die Ablesestrahlen in ihren Schnittpunkten $A$ und $B$ mit der optischen Achse ständig zusammengehörige Objekt- und Bildpunkte ergeben.

In Abb. 3 ist
$$\sphericalangle P_0MP = \varphi = 60^0,$$
und somit fällt Punkt $P$ mit dem Punkt $P_a$ zusammen. Dann geht einer der Strahlen durch einen Brennpunkt, während der andere parallel mit der optischen Achse verläuft, entsprechend dem Fall $a = f$ und $b = \infty$. In Abb. 4 dagegen ist $\varphi = 90^0$, so daß $P$ zwischen $P_a$ und $O$ liegt, und die Schnittpunkte $A$ und $B$ auf derselben Seite von $O$ liegen, entsprechend einem negativen Wert von $b$ oder dem Fall des virtuellen Bildes.

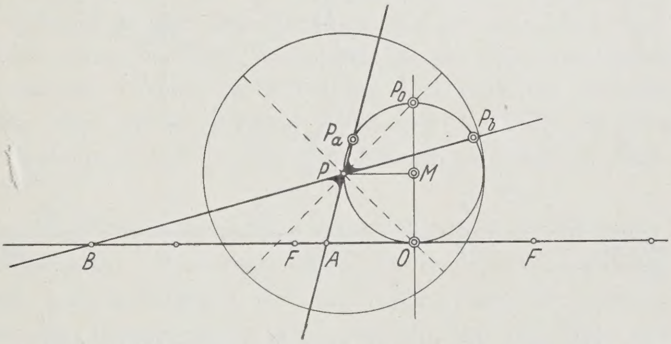


Abb. 4.

Es ist ersichtlich, daß jeder Lage von $P$ auf dem Kreise um $M$ auch nur eine bestimmte Vergrößerung entspricht. Zu deren Bestimmung bezieht man die Abbildungsgleichung auf die Brennpunkte, dann ist bekanntlich

$$f^2 = \mu\nu \quad \text{und} \quad v^2 = \frac{\nu}{\mu},$$

[1] Vgl. W. Hartmann, Die Maschinengetriebe. Bd. 1, S. 115uf. Berlin 1913.

wenn $\mu$ und $\nu$ die Brennpunktsabstände von Objekt- und Bildebene bedeuten. Bezeichnet man in Abb. 2 noch $AP$ mit $a'$, $BP$ mit $b'$ und $OP$ mit $f'$, so ist

$$\frac{a}{a'} = \frac{b}{b'} = \frac{\sin 60^0}{\cos\frac{\varphi}{2}} = \frac{\sqrt{3}}{2\cos\frac{\varphi}{2}} \quad \text{und} \quad f' = \frac{2}{3}\sqrt{3}\cdot f\cdot\cos\frac{\varphi}{2};$$

ferner

$$a'^2 = a^2 + f'^2 - 2\,a f' \sin\frac{\varphi}{2},$$

oder

$$\left(4\cos^2\frac{\varphi}{2} - 3\right) a^2 = 4 f^2 \cos^2\frac{\varphi}{2} - 4\sqrt{3}\, a f \sin\frac{\varphi}{2}\cos\frac{\varphi}{2}$$

und ebenso

$$\left(4\cos^2\frac{\varphi}{2} - 3\right) b^2 = 4 f^2 \cos^2\frac{\varphi}{2} + 4\sqrt{3}\, b f \sin\frac{\varphi}{2}\cos\frac{\varphi}{2}$$

und hieraus

$$\frac{b^2}{a^2} = \frac{f\cos\frac{\varphi}{2} + (f+\nu)\sqrt{3}\sin\frac{\varphi}{2}}{f\cos\frac{\varphi}{2} - (f+\mu)\sqrt{3}\sin\frac{\varphi}{2}} = v^2.$$

Setzt man hierin noch $f = \sqrt{\mu\,\nu}$, so erhält man schließlich

$$\operatorname{tg}\frac{\varphi}{2} = \frac{1}{\sqrt{3}}\cdot\frac{v-1}{v+1}.$$

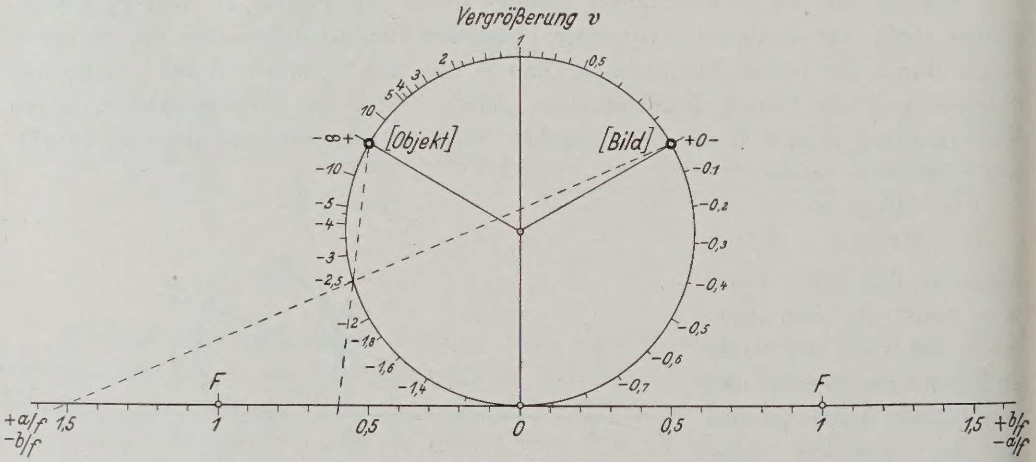



Abb. 5.

Hiernach ist die in dem Nomogramm in Abb. 5 auf dem Kreis aufgetragene Teilung berechnet, während die Teilung auf der optischen Achse linear ist. Für die Brennweite ist $f = 1$ angenommen, so daß die abgelesenen Werte für $a$ und $b$ noch mit der jeweiligen Brennweite zu erweitern sind. Das in der Abbildung eingetragene Beispiel entspricht dem Werte $v = -2{,}5$, womit man erhält $a = +0{,}6\,f$ und $b = -1{,}5\,f$.

Wenn auch die unvermeidlich spitzen Schnitte der Ablesestrahlen in einem der Punkte $A$ oder $B$ eine mechanische Verwirklichung und Auswertung dieser Ergebnisse im allgemeinen ausschließen, so werden doch diese wohl noch unbekannten Zusammenhänge nicht ohne Interesse sein und vielleicht in irgendeinem Sonderfall von Nutzen sein können.

# Biegsame optische Geräte.

Von
cand. med. **Heinrich Lamm** in München.

Die früheren Vorschläge zur Schaffung biegsamer optischer Geräte [Hoffmann (1), van der Reis (2)] sehen durchweg Spiegel oder Prismen in abknickbaren Rohren vor. Auf diesem Wege können demnach nur abknickbare Geräte gebaut werden, und weiterhin ist es nicht gelungen, durch Zusammenstellung vieler Prismen brauchbare Abbildungen zu erzielen. Denn die Lichtverluste bei dem häufigen Übergang von dem einen Medium (Luft) ins andere (Glas) sind so groß, daß keiner der beiden Autoren mehr als seinen Vorschlag berichtet.

Mein Vorschlag geht von der folgenden allgemein bekannten Erscheinung aus: Leitet man ein Strahlenbündel in einen geraden oder gekrümmten Stab aus Glas oder einem anderen, optisch verhältnismäßig dichten Stoff, so, daß es in eine der beiden Stirnflächen in nicht zu großem Winkel zur Stabachse einfällt, so kann es, infolge der fortwährenden Totalreflexionen an den Stabwänden, den Stab nur durch die andere Stirnfläche hindurchtretend verlassen, wenn der Stab nicht ganz starke Krümmungen aufweist. Dieselbe Erscheinung zeigt sich auch an einem sehr dünnen Stab, etwa einem Glas- oder Quarzfaden.

Durch ein biegsames Bündel sehr vieler sehr dünner Glas- oder Quarzfäden, das an beiden Enden senkrecht zu seiner Längsachse abgeschliffen und poliert ist, in dem ferner die Fäden derart angeordnet sind, daß der Querschnitt eines jeden Fadens in der einen Bündel-Endfläche an einer Stelle liegt, die genau der Stelle entspricht, an der der Querschnitt des nämlichen Fadens in der andern Endfläche sich befindet[1]; bei dem letztlich die Fadenanordnung in den Endflächen durch je eine die Bündelenden (aber nur diese) umgreifende starre Umhüllung (Fassung) gesichert ist: durch ein solches biegsames Bündel wird ein reelles Bild, das auf die eine Endfläche durch ein Objektiv entworfen wird, punktweise (genauer gesagt „bezirksweise") bis an die andere Endfläche des Bündels geleitet; dort kann es dann durch ein Okular oder unmittelbar als ein Rasterbild beobachtet werden. Wenn die Fäden in dem mittleren Teil des Bündels durcheinander geraten (dies ist bei Biegung notwendig der Fall), so stört das nicht, weil ja durch die Fassung an den Enden die „Übereinstimmung der Endflächen" gewahrt bleibt.

Die Helligkeit des Bildes hängt ab, von anderen, ganz allgemein für die Helligkeit in optischen Geräten maßgebenden Umständen, abgesehen von der Beschaffenheit des Stoffs, aus dem die Fäden bestehen (wegen der durch Absorption auftretenden Lichtverluste und der Größe des Grenzwinkels) und weiterhin von der Zahl der beim Durchlaufen der Fäden auftretenden Totalreflexionen. Diese wiederum ist bestimmt durch 1. den Winkel der einfallenden Strahlen zur Fadenachse und 2. die Dicke der Fäden. Der Einfallswinkel der bilderzeugenden Strahlen soll möglichst klein sein. — Sind die Fäden zu dünn, so können Interferenz- und Beugungserscheinungen störend auftreten, auch wird in diesem Falle die Bildhelligkeit durch die vielen Totalreflexionen stark vermindert werden. Deshalb darf die Fadendicke nicht

[1] D. h., bezeichnet man die Lage eines Fadenquerschnitts in einer Bündelendfläche durch Polarkoordinaten, deren Mittelpunkt im Endflächen-Mittelpunkt liegt, so müssen Modul und Argument der Querschnitte eines Fadens in den beiden Endflächen (beide von derselben Seite gesehen) gleich sein.

unter ein gewisses Maß (etwa 40 $\mu$) herabgehen. Andererseits aber muß eine hinreichende Feinheit des Rasters gewahrt bleiben, damit auch bei Okularvergrößerung ein Bildeindruck entsteht. Wie allen diesen Forderungen entsprochen werden kann, müßten weitere Arbeiten ergeben.

Es ist mir bei meinen Versuchen nicht gelungen, hinreichend helle und scharfe Bilder zu übertragen, weil die Fäden, die ich erhalten konnte, nicht aus hinreichend schwach gefärbtem Glase bestehen, so daß in ihnen eine immerhin beträchtliche Absorption statthat. Weiterhin erwies es sich als eine Schwierigkeit, die geforderte „Übereinstimmung der Endflächen“ durch Ordnen und Kämmen der Fäden zu erzielen. Jedoch zeigen die beigefügten Aufnahmen, die mit der gütigen Unterstützung von Herrn Professor Dr. Gerlach im Institut für Experimentalphysik der Universität München angefertigt wurden, daß es mit der beschriebenen Vorrichtung durchaus möglich ist, Bilder bei beliebiger und stets veränderlicher Krümmung des Bündels zu übertragen.

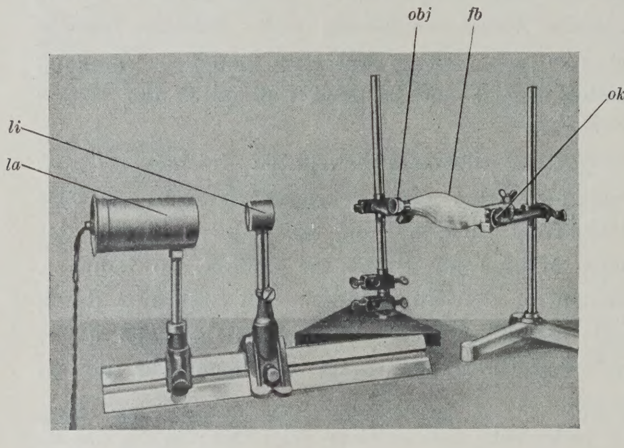



Abb. 1.
*la* = Lichtquelle (24-Voltlampe, deren Glühfaden als Objekt dient), *li* = Objektivlinse, *obj* = objektwärts gerichtete Bündelendfläche, *fb* = Fadenbündel, *ok* = okularwärts gerichtete Bündelendfläche.
Das Maß der Krümmung des Bündels kann man durch den Richtungsunterschied der Stativarme, die immer senkrecht zur jeweiligen Richtung der Bündelachse stehen, beurteilen.

Abb. 1 zeigt die gesamte Versuchsanordnung. Das Bild des Glühfadens einer 24-Voltlampe wird durch eine Objektivlinse auf die eine Endfläche des Glasfadenbündels geworfen und sodann in dem Bündel bis an die andere Endfläche geleitet, wo es betrachtet werden kann. Abb. 2 zeigt die Form des Glühfadens, wie er von dem Objektiv auf einem lichtempfindlichen Papier gezeichnet wird, das sich da befindet, wo in Abb. 1 die objektwärts gerichtete Endfläche des Bündels ist. Abb. 3 ist das von dem Bündel an die andere Endfläche geleitete Bild, gleichfalls unmittelbar durch angelegtes Bromsilberpapier festgehalten.

Abb. 2.

Abb. 3.

Die Hauptbedeutung brauchbarer biegsamer optischer Geräte würde sich wahrscheinlich durch die Möglichkeit des Baues biegsamer Endoskope ergeben. Besonders der Magenspiegel (das Gastroskop) könnte, wie Schindler (3, 4) darlegt, durch Einschaltung eines biegsamen Stücks im Bereich des Mageneingangs zu einem diagnostischen Hilfsmittel von allgemeiner Verwendbarkeit werden. Das ist er heute noch nicht, weil die Schwierigkeit, ein starres Gerät durch die Speiseröhre und besonders durch ihren stark gekrümmten Teil beim Mageneingang einzuführen, es nur besonders erfahrenen und geübten Fachärzten gestattet, Gastroskopien auszuführen. Weiterhin würden auch gewisse in der wechselnden Gestalt des Magens liegende Schwierigkeiten (häufige Unmöglichkeit, den diagnostisch besonders wichtigen Magenausgang zu sehen) bei einem biegsamen und steuerbaren Gerät wegfallen.

Eine weitere Anwendungsmöglichkeit des dargelegten Verfahrens bilden Vorrich-

tungen zur Betrachtung von unzugänglichen und in ihrer Lage wechselnden Apparatteilen, etwa von Skalen an Waagen, an elektrischen oder großen optischen Geräten u. dgl. Ferner kann durch ein Bündel in der Art des beschriebenen auch jede gewünschte Bildverlagerung, etwa eine Bildumkehrung in Fällen, wo sich die Verwendung einer Umkehrlinse oder die Einschaltung seitlich ausladender Umkehrprismen verbietet, bewirkt werden. Eine Bildumkehrung tritt ein, wenn das Bündel in sich um $180^0$ verdreht ist.

Während meiner Arbeiten erfuhr ich vom Reichspatentamt, daß die Marconi-Gesellschaft in London ein Patent (5) besitzt, das eine ähnliche „Vorrichtung zur Leitung strahlender Energie usw.“, hauptsächlich in Verbindung mit Bildfunkgeräten, vorsieht. Die Marconi-Gesellschaft teilte mir auf eine Anfrage mit, daß weder sie noch der Erfinder Versuche zur Auswertung des Patents gemacht hat; deshalb glaube ich, daß der von mir erbrachte experimentelle Nachweis der Möglichkeit, einen solchen biegsamen Strahlungsleiter zur Bildleitung zu verwenden, diese Mitteilung rechtfertigt; um so mehr, als ich hoffe, daß sich ein optisches Werk, das natürlich andere Mittel, Bezugsquellen und Erfahrungen hat als ich, auf ihm aufbauend sich um die Schaffung eines brauchbaren, biegsamen Gastroskops bemühen wird.

Zu besonderem Dank bin ich verpflichtet Herrn Dr. Heurung (i. Fa. G. Rodenstock, Optische Werke, München), der die Ausführung meiner Versuchsmodelle übernommen hatte, Herrn Professor Dr. Gerlach, der mich als Physiker beraten hat, Herrn Dr. med. Rudolf Schindler, der mir als erfahrener Gastroskopiker zur Seite stand und durch dessen gütige Vermittlung mir das zur Durchführung meiner Versuche notwendige Geld zur Verfügung gestellt wurde.

### Schrifttum.

(1) Martin Hoffmann, *Münch. med. Wochenschr. 1911, S. 2446.*
(2) Emil van der Reis, *Med. Klin. 1927. S. 543.*
(3) Rudolf Schindler, Lehrbuch und Atlas der Gastroskopie, München 1923.
(4) Rudolf Schindler, *Münch. med. Wochenschr. 1928, S. 174.*
(5) *British Patent Specification Nr. 295601. (1928).*

---

# Entladungsrohr zur Erzeugung eines lichtstarken kontinuierlichen Spektrums im Ultraviolett.

Von
**Ernst Lau** in Berlin-Charlottenburg.

Es sind bereits verschiedene Konstruktionen von Röhren zur Erzeugung des ultravioletten kontinuierlichen Spektrums beschrieben worden. Dieses Kontinuum wird heute allgemein als ein Dissoziationsspektrum des Wasserstoffmoleküles betrachtet, man muß daher dafür sorgen, daß in den Röhren eine große $H_2$-Konzentration erhalten bleibt, und der durch die Entladung gebildete Atomwasserstoff rekombiniert wird. Gehrcke und Lau haben als erste zu diesem Zweck Katalysatoren in das Entladungsrohr selbst eingebaut, in dem sie die Glaswand der positiven Säule halb durchlässig versilberten. Diese Rohre sind in mannigfacher Weise weiter gebildet worden. Bay und Steiner[1] haben dieselben für starke Stromstärken umkonstruiert, indem sie z. B. Wasserkühlung anbrachten.

Nicht beachtet ist bisher die günstigste Anregungsbedingung für das Kontinuum. Seine Anregungsenergie ist kleiner als die des Viellinienspektrums von $H_2$. Man weiß,

[1] *Zeitschr. f. Physik.* **45.** *S. 337. 1927.*

daß man, um Spektren relativ kleiner Anregungsspannung zu erhalten, den Spannungsgradienten im Entladungsrohr klein machen muß. Bei den bisher üblichen Röhren von ca. 1 cm lichter Weite und den brauchbaren Gasdrucken ist der Spannungsgradient jedoch zu groß, um günstige Anregungsbedingungen für das Kontinuum zu erzielen. Versuche haben ergeben, daß bei etwa 1 mm Druck eine Rohrweite von ca. 2,5 cm günstige Verhältnisse ergibt. Die größere Rohrweite hat noch weitere Vorteile. Es können größere Stromstärken verwendet werden, ohne daß das Rohr überlastet wird. Ferner ist in einem weiten Rohr infolge der geringeren Stromdichte und der größeren Rohrwand die $H_2$-Konzentration bei gegebener Stromstärke größer als bei engem Rohr. Um eine genügende katalytische Wirkung zu erzielen, braucht das Rohr selbst nicht mit einem Metall überzogen zu werden, sondern es können seitlich Ansatzrohre mit Katalysatoren angebracht werden. Es hat dies den Vorteil, daß die Rekombinationswärme sich weiter verteilt und so das Rohr stärker belastet werden kann. — Schließlich ist der Strahlengang bei einem weiten Rohr günstiger als bei einem engen Rohr. Die von dem Quarzfenster weiter entfernten Teile der positiven Säule wirken mit, ohne daß Verluste durch Reflektion an der Glaswand auftreten.

Die Intensitätsverteilung des Kontinuums für das ferne Ultraviolett ist günstiger als bei engeren Rohren. Die Schwärzungskurve verläuft bei Gebrauch eines Quarzspektrographen fast gradlinig bis zur Absorption durch Quarz im fernen Ultraviolett, d. h. die Intensität des Kontinuums wächst nach dem Ultraviolett zu ähnlich wie die Dispersion des Quarzes.

Derartige Röhren mit 100 m A betrieben ergaben im Quarzspektrographen mit dem Öffnungsverhältnis 1 : 10 Aufnahmen mit guter Schwärzung über das ganze Ultraviolett in wenigen Sekunden. Die Belastungsgrenze dürfte etwa 0,5 A betragen. Die Röhren sind in zahlreichen Exemplaren in wissenschaftlichen und technischen Instituten zu Absorptions- und Reflektionsmessungen in Gebrauch. Die Firma Karl Leiss-Berlin-Steglitz vertreibt dieselben.

---

# Über einen Apparat zur Erzeugung von tonfrequenten Wechselströmen mit rechteckiger Kurvenform.

Von

**W. Keil** und **R. Sewig** in Berlin.

Für physiologische Untersuchungen über Nervenreizung durch elektrische Ströme, insbesondere für Untersuchungen über die sogenannte Chronaxie ist die Herstellung in Rechteckform verlaufender Stromschlüsse und -unterbrechungen von Bedeutung. Es sind bereits verschiedene Apparate bekannt: Weißsche Pistole, Pendelapparat u. a., die diesem Zweck dienen, jedoch nur wenig Möglichkeiten bieten, Kurvenform und Frequenz so zu verändern, wie es die erwähnten medizinischen Zwecke erfordern. Es ist daher eine Anordnung erwünscht, die Gleichstrom mit rechtwinkligem Stromabfall und -wiederanstieg abteilt in Perioden von 0,1 bis 0,0001 s Dauer. Außerdem sollte das Verhältnis von Stromschluß zu Stromunterbrechung einer Periode in weiten Grenzen stetig und meßbar zu verändern sein. Die Stromausbeute sollte maximal $25—50 \cdot 10^{-3}$ A betragen und der dem Apparat entnommene Strom innerhalb gewisser Grenzen vom Widerstand und dessen Änderung im menschlichen Körper unabhängig sein.

Herr Prof. Dr. Kramer von der Psychiatrischen und Nervenklinik der Charité in Berlin, der für seine Untersuchungen einen Apparat benötigt, der diesen Anforderungen genügt, regte uns zur Entwicklung der im folgenden beschriebenen An-

ordnung an. Er verwies uns auch auf die Arbeit von Büge und Mann[1]). Von Büge und Mann übernahmen wir den Gedanken, wie später im einzelnen erläutert werden soll, den Verbraucher in den Anodenkreis einer Dreielektrodenröhre zu legen und im Sättigungsgebiet zu arbeiten.

Der naheliegende Gedanke, das Problem durch einen mechanischen Unterbrecher, etwa nach Art eines Kollektors zu lösen, mußte nach genauer Durchrechnung, namentlich wegen der verlangten hohen Frequenzen, verworfen werden. Abgesehen davon, daß aller Voraussicht nach, die Gleichmäßigkeit der Stromsteuerung infolge der durch Reibung des Stromabnehmers bedingten Abnutzung sehr bald nicht mehr zu gewährleisten wäre, würde wohl auch ein rechtwinkliger Stromschluß bei dieser Art Schaltorgan kaum auf die Dauer vollkommen zu erreichen sein.

Wir kamen dann darauf, als Schaltrelais die lichtelektrische Zelle zu verwenden, und zwar in der Anordnung, daß der von einer Glühlampe auf die Zelle geworfene Lichtstrahl durch eine rotierende Blendeneinrichtung periodisch unterbrochen wird und die Photoströme in mehreren Stufen verstärkt werden. Dabei konnten neben dem verlangten Frequenzintervall durch geeignete Anordnung der Optik auch die Bedingungen der rechteckigen Kurvenform und des regelbaren Verhältnisses von Stromschluß zu Stromöffnung, durch den Verstärker die Vorschrift des von der veränderlichen elektrischen Leitfähigkeit der Versuchsperson unabhängigen der Apparatur entnommenen Stromes erfüllt werden.

Bei dem ersten Entwurf war zunächst eine Röhrenlampe in horizontaler Lage vorgesehen, der gegenüber, zu ihr parallel verschiebbar eine das Licht der lichtelektrischen Zelle zuleitende Optik angeordnet werden sollte. Eine um die Lampe rotierende mit entsprechenden Blendenöffnungen versehene Trommel sollte die Unterbrechungen des Strahlenganges herstellen, während eine Verschiebung der gesamten Optik einschließlich der Photozelle die geforderte Veränderlichkeit des Verhältnisses zwischen Belichtung und Abschirmung sicher zu stellen gestattete. Von diesem Entwurf wurde abgegangen, weil die für die geforderten Frequenzen nötigen Umdrehungszahlen der Blendentrommel eine hohe Übersetzung zwischen Antriebsmotor und Trommel vorausgesetzt hätten, letztere aber auch kaum für die auftretenden Fliehkräfte stabil genug ohne Schwierigkeiten wäre zu bauen gewesen.

Deshalb wurde die in folgendem beschriebene Anordnung ausgeführt, deren Grundriß in Abb. 1 gegeben ist.

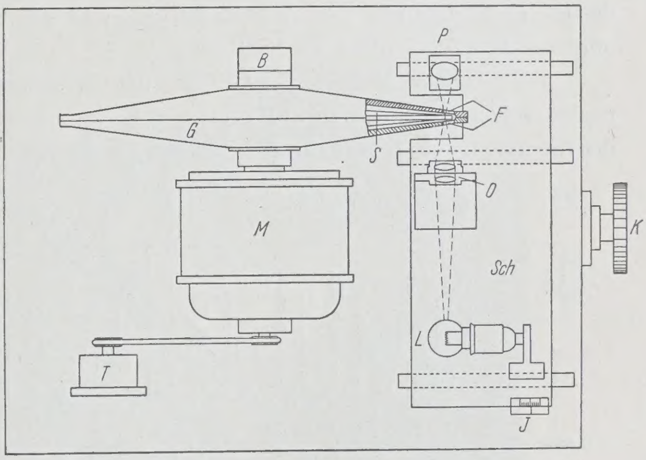


Abb. 1. Grundriß des mechanischen und optischen Teils (schematisch).

Auf der Achse eines maximal 6000 Um/min laufenden, in weiten Grenzen regelbaren Motors $M$ ist schlagfrei eine als Körper gleicher Festigkeit ausgebildete Blenden-

[1]) M. Büge und L. Mann, Eine neue Methode, um die Stromstärke bei elektrodiagnostischen Untersuchungen vom Körperwiderstand unabhängig zu machen. *Zeitschr. f. d. ges. physikal. Therapie.* **34.** *Heft 1. 1927.*

Sektorscheibe $S$ von 400 mm Durchmesser sicher befestigt, die an ihrer Peripherie mit 100 10,8 mm hohen Zähnen von der Form eines gleichseitigen Dreiecks versehen ist. Der Winkel zwischen je zwei Zahnflanken, gemessen vom Zahngrund aus beträgt $60^0$. Aus Gründen der Betriebssicherheit, auf die im Hinblick auf die hohe Umlaufzahl der Scheibe $S$ besonders geachtet werden muß, ist die Scheibe von dem stabilen Gehäuse $G$ umgeben, indessen beide Schalen an sich gegenüberstehenden Stellen je ein Fenster $F$ eingelassen ist, durch das ein Strahlenbündel hindurchtreten kann, wenn die Lücke zwischen zwei benachbarten Zähnen der Sektorscheibe in das Fenster zu liegen kommt. Die eine Gehäusehälfte ist unmittelbar am Motorgehäuse befestigt, die andere, mit der ersten verschraubt, wird außerdem durch einen besonderen Bock $B$ gestützt, der auch das Kugellager trägt, in dem der dem Motor abgewandte Zapfen der Achse der Blendenscheibe läuft. Auf dem anderen Achszapfen ist ein Schnurlauf befestigt, von dem aus das Deuta-Tachometer $T$ angetrieben wird, an dem die Umlaufszahl der Blendenscheibe $S$ abgelesen wird. Entsprechend der Meßgenauigkeit des Tachometers, die auf $^1/_{1000}$ anzunehmen ist, kann demnach auch die Frequenz der an dem Fenster im Gehäuse vorübergehenden Zahnlücken, die für die Frequenz der Stromstöße bestimmend ist, jederzeit festgestellt werden.

Die übrigen Teile der Schalteinrichtung, die 35 W-Scheinwerfer-Nitralampe (Osram) $L$, das Linsensystem $O$ und die lichtelektrische Zelle $P$ sind auf einem stabilen sorgfältig geführten Schlitten *Sch* angeordnet. Das von der Lampe $L$ ausgehende Licht fällt auf das Linsensystem $O$ — ein Ernostar-Kinoobjektiv 1:1,9, $f = 52$ mm — tritt durch das eine Fenster des Gehäuses ein, wird in der Blendenebene durch das Objektiv $O$ vereinigt, tritt durch das andere Fenster divergent wieder aus und trifft auf die Photozelle $P$. Die entstehenden Photoströme werden in dem weiter unten beschriebenen Verstärker verstärkt. Das Verhältnis der Abbildungsgröße der Lichtquelle in der Sektorebene zur Zahnbreite ist maßgebend für die Abweichungen der Kurvenform vom idealen Rechteck. Deshalb wurde ein gut korrigierter Anastigmat — Ernostar — gewählt, dessen große Öffnung den Vorteil bringt, daß an Verstärkung gespart werden kann und der Störpegel nicht zu hoch ist.

Der Schlitten *Sch* kann mit Hilfe der Mikrometerschraube $K$, deren Kordelknopf nur zu sehen ist, längs eines Radius der Sektorscheibe verschoben werden, derart, daß der Strahlengang innerhalb der Zahnlücke der Blendenscheibe verlegt werden kann. An einer Skala kann mit Hilfe des Index $J$ die Schlittenverschiebung abgelesen werden; die Skala gibt unmittelbar das Verhältnis der Dauer der Unterbrechung des Lichtweges zur Dauer der Freigabe, d. h. das Verhältnis der Stromunterbrechung zur Schließung an.

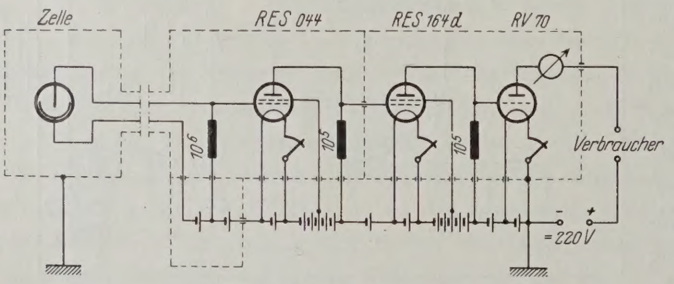


Abb. 2. Verstärkerschaltung (Prinzip).

Die gesamte Apparatur ist auf einem stark gehaltenen tischartigen Gestell so aufgebaut, daß beim Probelauf der Blendenscheibe Resonanzschwingungen nicht wahrzunehmen waren.

Die Schaltung von Photozelle und Verstärker ist in Abb. 2 dargestellt. Die Zelle liegt an einer die Saugspannung von etwa 110 V liefernden Batterie, über einen Widerstand von 1 M$\Omega$, an welchem die Eingangswechselspannung des Verstärkers abgegriffen ist. Der Verstärker konnte wegen des außergewöhnlich breiten Frequenzbandes

$50 < f < 10000$ Hertz und der rechteckigen Kurvenform nur mit reiner Widerstandskoppelung ausgerüstet werden, obgleich hierdurch die Unbequemlichkeit der zahlreichen getrennten Batterien in Kauf genommen werden mußte. Als Anfangsstufe dient ein Rohr RE 034, als Zwischenstufe das Schirmgitterrohr RES 164 d, als Endrohr eine Röhre RV 70 mit Wolframkathode. Die Gitterwechselspannung des Endrohres variiert zwischen — 30 V (bei Dunkelheit) und + 30 V (bei Belichtung). Die Anodenspannung von 220 V (Netz) liegt wesentlich über der Sättigungsspannung des Rohres, so daß der entnommene Strom von Schwankungen der Netzspannung und von dem Widerstand des Verbrauchers unabhängig ist[1]. Die entnommene Stromamplitude ist durch die Heizung des Endrohres zwischen 0 und ca. 30 mA einstellbar. Die große Anodenleistung des Zwischenrohres RES 164 d genügt zur Lieferung des bei positiven Gitterspannungen des letzten Rohres auftretenden Gitter-

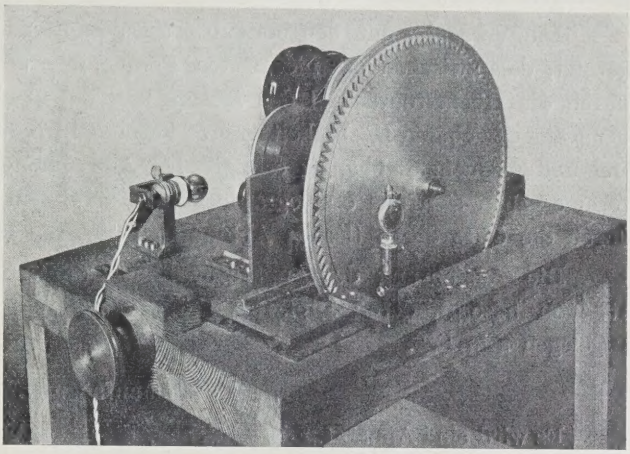


Abb. 3. Aufbau von Blendenscheibe und Optik (eine Gehäusehälfte und Schutzhüllen abgenommen).

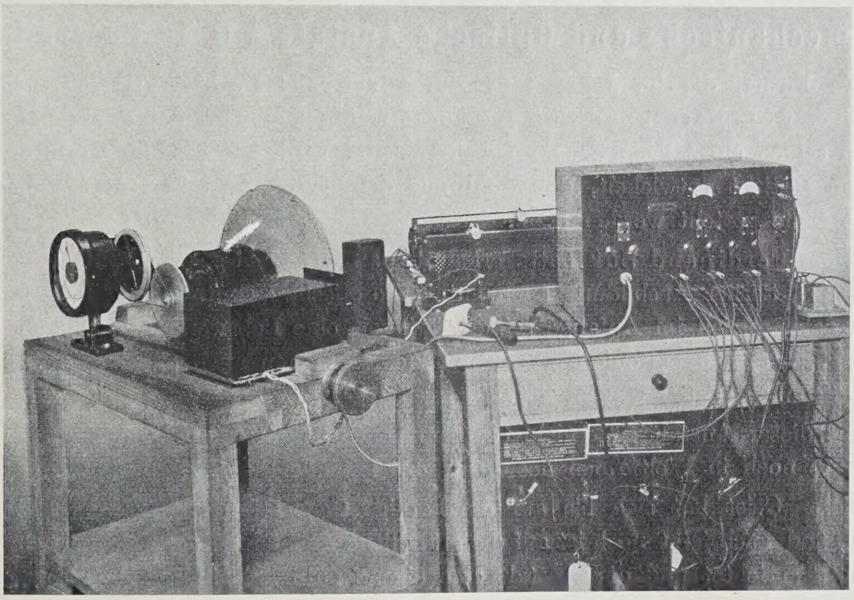


Abb. 4. Gesamtaufbau (Versuchsausführung).

stromes, auch noch bei Parallelschaltung eines zweiten RV 70-Rohres, die für den Fall vorgesehen ist, daß die Ausgangsstromstärke nicht genügt.

[1] Vgl. Büge und Mann a. a. O.

Der Verstärker ist in ein geerdetes Kupferblechgehäuse eingebaut, die erste Stufe für sich nochmals statisch geschützt. Die Verbindungsleitung nach der gleichfalls in einem geerdeten Blechkasten eingeschlossenen lichtelektrischen Zelle ist durch einen geerdeten Metallschlauch geschützt.

Die Versuche mit der ersten fertig gestellten Apparatur (Abb. 3 und 4) haben gezeigt, daß zwischen der niedrigsten Frequenz — bei auslaufendem Motor — und der durch die Höchsttourenzahl des Motors und die mechanische Festigkeit bedingten, in der Nähe der oberen Hörbarkeitsgrenze liegenden Frequenz die Verstärkung verzerrungsfrei und frequenzunabhängig erfolgt. Die Abweichungen von der rechteckigen Kurvenform ergaben sich aus oszillographischen Aufnahmen innerhalb der vorauszusehenden, durch die Güte der optischen Abbildung bedingten Grenze.

Die Ausführung der Apparatur haben die Berliner Physikalischen Werkstätten besorgt, deren Dipl.-Ing. Höffer sich die konstruktive Durchbildung sehr angelegen sein ließ.

**Zusammenfassung.**

Es wird eine Apparatur beschrieben, die unter Verwendung einer lichtelektrischen Zelle in Verbindung mit einer rotierenden, besonders geformten Blende als Steuerorgan die Herstellung von Wechselströmen rechteckiger Kurvenform von 0 bis etwa $10^4$ Hertz gestattet.

---

# Neukonstruktionen der Firma Ferdinand Süss, Präzisionsmechanische und Optische Anstalt A.G. in Budapest.

Die Firma, die im Jahre 1884 durch den aus Marburg (Hessen) gebürtigen Mechaniker weil. Ferdinand Süß gegründet wurde und nach dessen Tode ausschließlich von seinen ehemaligen Schülern weitergeleitet wird, hat sich im Laufe der Jahre zu einem Institut entwickelt, das wohl mit den ersten Anstalten der Feinmechanik auf eine Stufe gestellt werden kann.

Schon Ferdinand Süß hatte erkannt, daß ein tüchtiger Mechaniker neben gediegener praktischer Ausbildung auch gute theoretische Kenntnisse besitzen muß, und richtete daher gleich im Anfange seiner Tätigkeit eine Lehrwerkstätte ein, die seinerzeit vom Staate subventioniert wurde und den Zöglingen auch eine vorzügliche theoretische Schulung zuteil werden ließ.

Aus dieser Anstalt sind viele tüchtige Leute hervorgegangen, die später und so auch heute noch in Weltfirmen des Auslandes leitende Stellen einnehmen.

Dieser Geist hat sich bis auf die heutige Generation der Leitung des Werkes erhalten, und auch jetzt noch ist auf die gründliche Ausbildung der Lehrlinge ein Hauptaugenmerk gerichtet und der Anstalt eine eigene gute Lehrlingsschule angegliedert.

Die Erzeugnisse der Firma erfreuen sich dank ihrer äußersten Präzision und vorzüglichen Ausstattung eines immer wachsenden Zuspruches auch im Auslande.

Das Institut, das übrigens Ursprungswerkstätte gar mancher Erfindungen von Bedeutung ist, bringt auch jetzt wieder eine Reihe nennenswerter Neukonstruktionen auf den Markt, von denen an dieser Stelle einige kurz erwähnt werden sollen, die besonders auf geodätischem Gebiete von Wichtigkeit sind.

Der Reduktionstachymeter „System Szepessy"[1] ist ein Tachymeter mit einer in das Gesichtsfeld projizierten Tangentenskala, mit dem bei äußerst einfacher Handhabung fast alle Arbeiten der Tachymetrie um vieles rascher und genauer ausgeführt werden können als mit den bisherigen Instrumenten und der diesen gegenüber somit einen wesentlichen Fortschritt bedeutet. Er vereinigt in sich die Vorteile der Tangententachymeter mit denen der Diagrammtachymeter unter Ausschaltung der Nachteile dieser beiden Systeme. Das Instrument hat sich recht gut bewährt und ist rasch beliebt geworden. Wer einmal damit gearbeitet hat, wird es nur ungern entbehren. Es ist deshalb im Königl. Ung. Triangulierungsamt eingeführt und in großer Zahl in Verwendung. Ein großer Vorteil des Instrumentes liegt auch darin, daß es bedeutend billiger und dabei weniger empfindlich ist als andere Reduktionstachymeter.

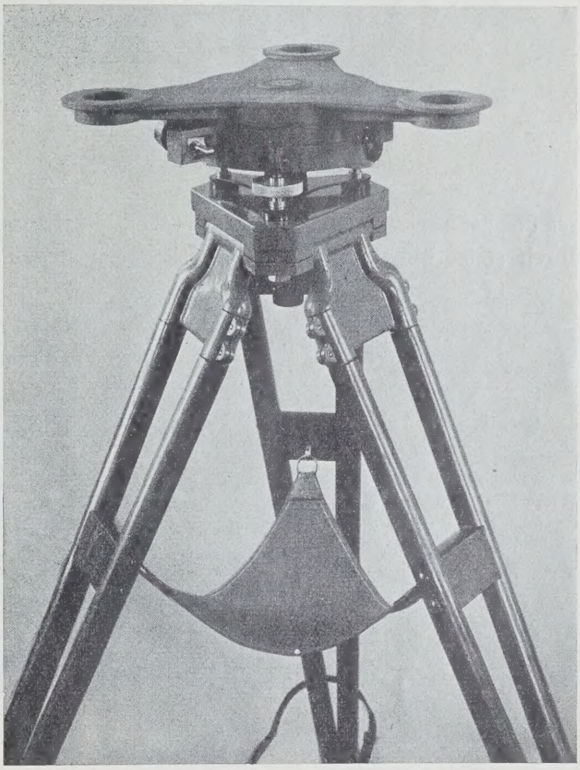


Abb. 1. Meßtisch.

Das Autotopometer „System Szüts" ist ein Instrument, das besonders bei photographischen Vermessungsverfahren sehr gute Dienste leistet und in Verbindung mit einem Lineal für graphische Meßtischarbeiten verwandt wird, jedoch auch ohne Lineal auf besonderem Stativ für numerische Vermessungen Anwendung findet. Sein besonderes Merkmal ist eine verschiebbare Pikiernadel, die beim graphischen Detaillieren zentrisch über dem graphischen Punkt aufgestellt wird und, nach dem Anvisieren des zu messenden Geländepunktes mit dem Fernrohr, auf das Bild dieses Geländepunktes im Photoplan mittels eines Schlittens verschoben werden kann, wonach die relative oder absolute Höhe der Punkte ohne Berechnung unmittelbar abzulesen ist. Das Ablesen der Entfernung und Höhe des gemessenen Punktes erfolgt mit einem gemeinsamen Mikroskop. Der Höhenkreis hat außer der normalen Teilung in $360^0$ auch eine Tangententeilung nach Szepessy, mit deren Hilfe die Horizontalentfernung direkt abgelesen wird.

Im Anschluß hieran sei noch ein neuer Meßtisch (Abb. 1) erwähnt, der äußerst stabil und dabei leicht gebaut ist und durch besondere Vorrichtungen eine überaus schnelle Aufstellung ermöglicht.

Der Auftragsapparat „System Szovátay" (Abb. 2) dient zum Auftragen von tachymetrisch festgelegten Punkten mit Hilfe ihrer Polarkoordinaten. Sein besonderer Vorzug ist, daß seine Alhidade im Mittelpunkt aufgehängt gelagert ist. Die hierdurch

[1] Referat in *dieser Zeitschr.* **48**. *S. 561—563. 1928.*

bedingte äußerst leichte Drehbarkeit der Alhidade schließt ein eventuelles Verdrehen

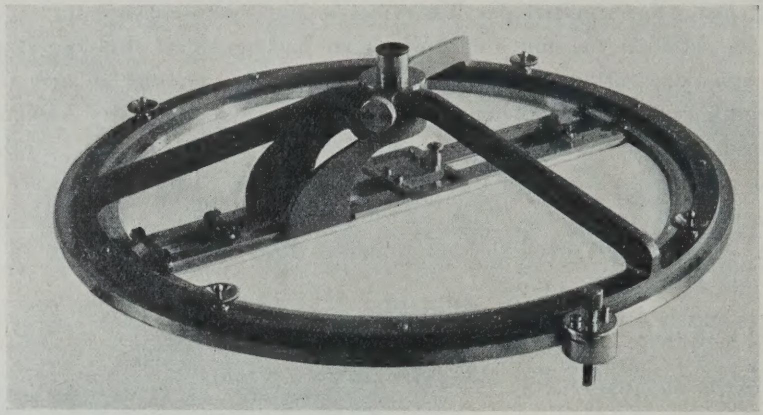


Abb. 2 Auftragsapparat System Szovátay.

des übrigens schwergehaltenen feststehenden Kreises aus, so daß eine besondere Fixierung durch sonst übliche Spitzen unnötig ist und das lästige Verstechen des Zeichenblattes vermieden wird. Die Hängelagerung der Alhidade hat den weiteren Vorteil, daß der mit Nonien und Pikiernadel versehene Distanzschlitten bis zur Mitte verschoben werden kann und somit auch die kleinsten Entfernungen einstellbar sind. Die Einstellung des Instrumentes auf die jeweiligen Mittelpunkte geschieht auf optischem Wege und kann daher sehr genau vorgenommen werden. Dieser Polarkoordinatograph hat sich besonders für feintachymetrische Zwecke bewährt.

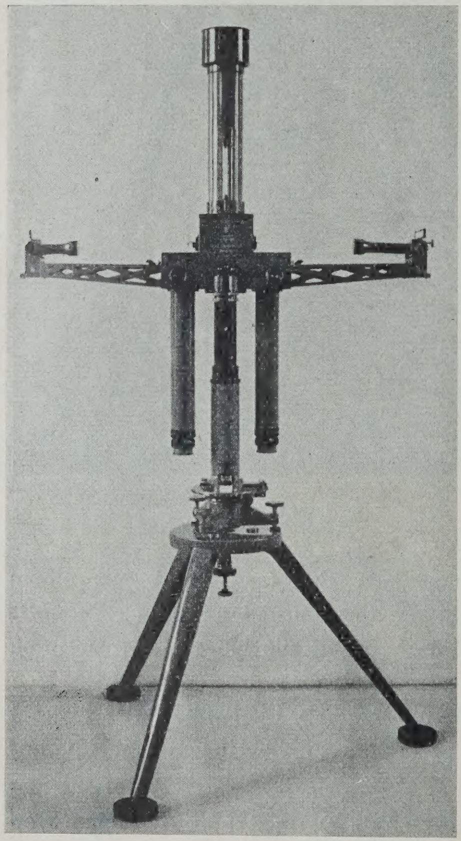


Abb. 3. Visuelle Drehwaage nach Pekár.

Der große Physiker Br. Eötvös ließ sämtliche Apparate zu seinen Versuchen im Süßschen Institut anfertigen, und es ist allgemein bekannt, daß sowohl die Anfangsversuche als auch alle seine weiteren Drehwaagen in dieser Anstalt nach Eötvös' Angaben konstruiert und ausgeführt wurden.

Auch auf diesem Gebiete konnte die Firma unter Mitwirkung des Nachfolgers von Br. Eötvös, dem heutigen Leiter des Kgl. Ung. Geophysikalischen Institutes in Budapest, Dr. Desider Pekár, wesentliche Fortschritte erreichen, indem es gelang, die Original-Eötvös-Drehwaage in eine für den Feldgebrauch ganz besonders geeignete Form (Abb. 3) zu bringen und eine visuelle Waage zu schaffen, die bei bedeutend kleineren Abmessungen und in-

folgedessen auch leichterem Gewicht eine gerade für den Feldgebrauch vollkommen entsprechende Empfindlichkeit besitzt.

Diese Drehwaage wurde in den letzten Jahren in großer Anzahl (Abb. 4) nach allen Teilen der Welt geliefert und hat allgemein Anerkennung gefunden.

Die neueste Drehwaagenform der Firma ist eine automatische Waage (Abb. 5), die nach Angaben von Prof. Dr. St. Rybár, Direktor des II. Physikalischen Institutes der Universität in Budapest, einem ehemaligen Schüler und langjährigen Mitarbeiter von Br. Eötvös, konstruiert wurde, zu der Dr. Rybár einen Meßfaden eigener Legierung von bedeutend kleinerem Durchmesser, als die bisher verwendeten, herge-

Abb. 4. Drehwaagen-Montierwerkstatt

stellt hat, durch den es möglich wurde, bei gleicher Empfindlichkeit der Waage die Maße des Balkens sowie die Länge des Torsionsdrahtes bedeutend zu verringern und somit ein gegen früher viel kleineres und handlicheres Instrument zu erhalten, das in Fachkreisen besonderes Aufsehen erregte.

Diese Waage kann übrigens auch visuell abgelesen werden, zu welchem Zwecke es mit einem besonderen Fernrohraufsatz versehen ist.

Es soll nicht versäumt werden, an dieser Stelle noch eines kleinen, sinnreichen, schnell beliebt gewordenen Auftragsapparates „System Papp“ (Abb. 6) zu gedenken, der mit jedem Auftragslineal normaler Stärke (5 mm) gemeinsam gebraucht werden kann und zum ungemein raschen und genauen Auftragen der mit rechtwinkligen Koordinaten eingemessenen Punkte dient. Mit einem Abschiebedreieck ergänzt ist der Apparat zu jeder kartographischen Arbeit geeignet.

Die Firma hat natürlich im Laufe der Jahre sich der wirtschaftlichen Lage anpassend ihren Tätigkeitskreis bedeutend erweitert und fertigt außer geodätischen In-

strumenten und Drehwaagen noch militärische Apparate, Materialprüfmaschinen, Wasseruhren und neuzeitliche Lokomotivausrüstungen, wie automatische Schmierpumpen und dergl.

Das Fabrik-Etablissement der Firma Ferd. Süß ist vor einigen Jahren bedeutend erweitert worden und verfügt über eine eigene optische Schleiferei und eigene Metallgießerei.

Das Personal besteht derzeit aus ca. 250 Arbeitern und Beamten. Die modern eingerichteten Werkstätten arbeiten mit ca. 170 PS.

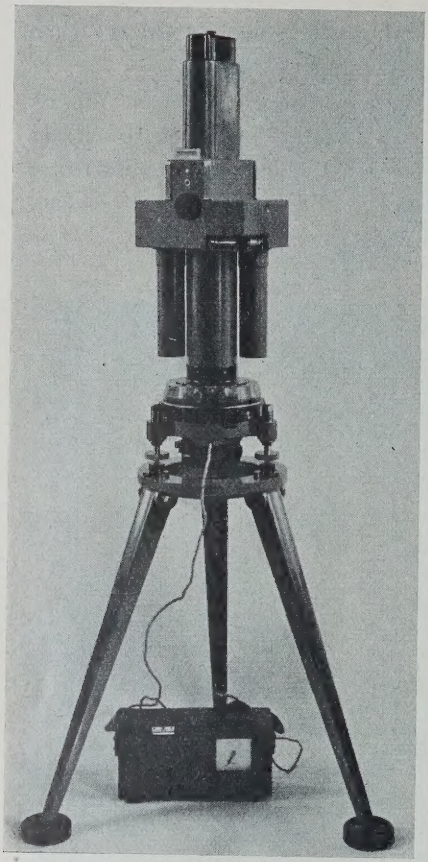


Abb. 5. Automatische Drehwaage nach Rybár.

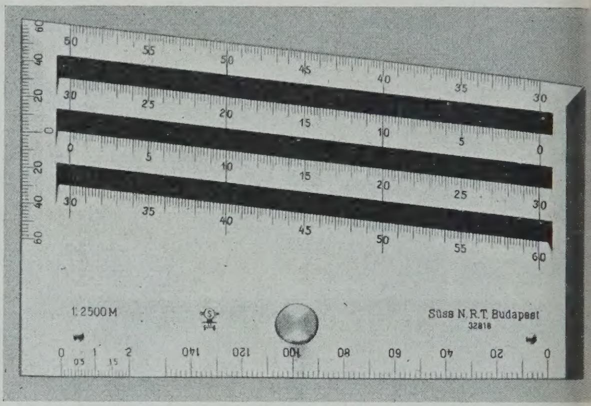



Abb. 6. Auftragsapparat System Papp.

---

# Wechselbad zur Materialprüfung.

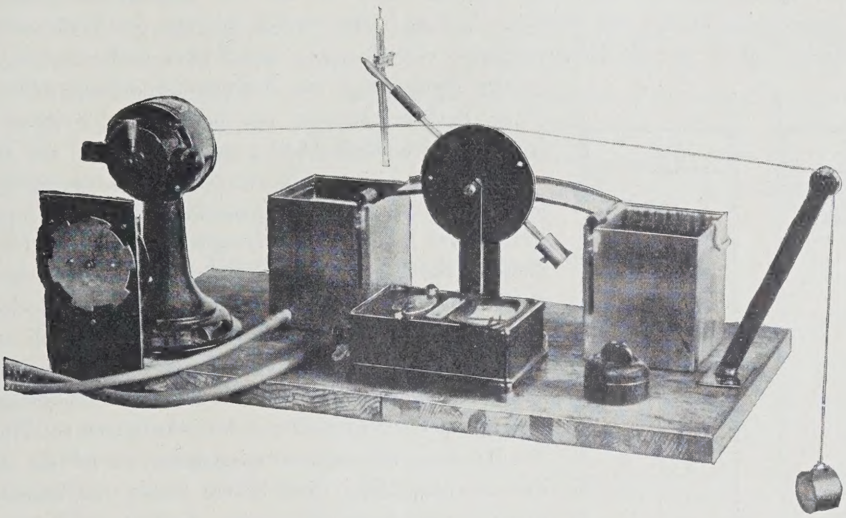
Von

**Dr. Richard Heilbrun** in Berlin-Nowawes.

Mehrere in der Heizkissentechnik und für besondere instrumentelle Zwecke verwendete Materialien bedürfen der Kontrolle daraufhin, wie sie sich bei wechselnden Temperaturen verhalten. So ist als Beispiel bei dem die Wärmesicherungen betätigenden Doppelmetall vor der Verwendung festzustellen, ob es Ermüdungserscheinungen zeigt, ob Risse bei der Verwendung auftreten oder vorhandene Risse sich vergrößern.

Wir benutzen zu dem Zweck ein Wechselbad, wie es die Abbildung wiedergibt. Zwei würfelförmige Gefäße von etwa 1 dm Kantenlänge sind mit Öl oder einer sonst passenden Flüssigkeit gefüllt. Ein Kipphebel wird abwechselnd durch ein Laufgewicht über das Gefäß rechts und durch den Lauf des Motors über das Gefäß links gekippt und dadurch ein abwechselndes Eintauchen des am Kipphebel befestigten Prüfkörpers erzielt. Die abwechselnde Stromschließung und -öffnung wird durch die links sichtbare Schaltuhr bewirkt. Man kann sich eine solche aus dem Werk einer einfachen Weckuhr selbst machen, der man eine Segmentenscheibe als einen Kontakt aufsetzt, während der andere Kontakt dem Minutenzeiger aufgelötet wird. Bei der abge-

bildeten Scheibe wechselt somit fünf Minuten Stromfluß mit fünf Minuten Unterbrechung. Das rechte Gefäß wird durch einen passenden Heizwiderstand mit Sicherung, den man einfach in das Öl legt, zum Beispiel auf 120° erwärmt, das linke Gefäß durch einen Wasserstrom der Leitung zum Beispiel auf 20° gehalten. Der Temperaturunterschied läßt sich leicht mit zwei Lötstellen Kupfer-Konstantan an einem geeichten Meßinstrument genügender Empfindlichkeit ablesen. Es ist noch darauf zu achten, daß die vom Tauchkörper in beiden Richtungen mitgeführte Ölmenge gleich bleibt. Das erreicht man einfach dadurch, daß man in das zu erwärmende Gefäß dickflüssigeres Öl tut, als in das abzukühlende.



Man erreicht also auf die beschriebene Weise, daß der Prüfkörper alle fünf Minuten oder in sonst gewünschten Zeitabständen auf die höhere Temperatur erhitzt und auf die niedrigere abgeschreckt wird, und zwar kann man den Versuch mit den geringen Kosten des Motor- und Heizstromverbrauches so viel Stunden oder Tage fortsetzen, als erwünscht ist. Zweckmäßig bringt man zwei farbige Kontrollampen an, mit denen der ordnungsgemäße Lauf der Kippvorrichtung überwacht wird. Die Einrichtung ist so einfach, daß sie sich jedes Laboratorium selbst herstellen kann. Die zwischen beiden Gefäßen sichtbare Brücke ist übrigens nur dazu bestimmt, das beim Überkippen abtropfende Öl aufzunehmen.

Das Wechselbad kann auch allerlei anderen Materialprüfungen dienen. Es ist für die Bedürfnisse meines Laboratoriums von Herrn cand. phil. Turowski gebaut worden.

Für kleine Probestückchen genügt es auch, wenn man nur ein Gefäß verwendet, es zur Hälfte mit kaltem fließenden Wasser und geheiztem Öl füllt und es bei feststehendem Prüfkörper periodisch hebt und senkt.

# Berichte.

## Kontinuierlich ablesbares Vakuummeter für mittlere Drucke.

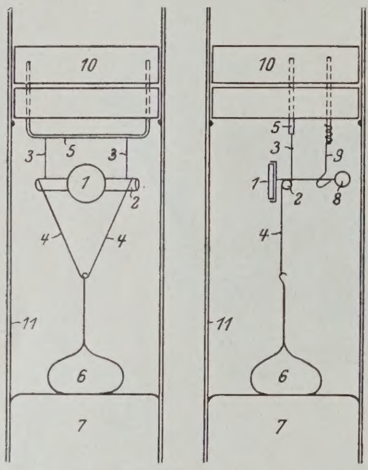
*(A pressure gange for continous reading in moderate vacua.)*

*Von* M. C. Johnson und G. O. Harrison. *Journ. Scient. Instr.* ***6.*** *S. 305—308. 1929.*

Das Manometer wurde gelegentlich von Versuchen über Adsorbtion fester Oberflächen im Vakuum entwickelt. Wegen der gestellten Anforderungen:

1. Meßbereich 0,5 bis $10^{-3}$ mm Hg in einer Skala,
2. Kontinuierliche Ablesungen in Abständen von 15 s,
3. Vermeidung erhitzter Metallteile,

kamen von den bekannten Manometerkonstruktionen nur die des Quecksilbermanometers mit optisch vergrößerter Anzeige des Meniskus in Frage. Die Vorteile des von den Verff. entwickelten Instrumentes (s. Abb.) vor den Konstruktionen von Shrader und Ryder und von Carver liegt in der Vermeidung von Nullpunktsänderung und „Haken" durch bessere Lagerung des beweglichen Systems und in größerer Unempfindlichkeit gegen Vibrationen des Meniskus.




Der Spiegel *1* ist an einem runden Glasstäbchen *2* befestigt, welches mittels je zweier Platinbändchen *3* und *4* mit dem Träger *5* bzw. dem Schwimmer *6* derart verbunden ist, daß eine Niveauänderung des Quecksilbers *7* und folgende Höhenänderung des Schwimmers ein Auf- bzw. Abwickeln der Platinbändchen und dadurch Drehung des Spiegels zur Folge hat. Der Schwimmer ist ein flacher, rotationssymmetrischer Glaskörper; sein Gewicht wird z. T. durch das Gegengewicht *8* ausgeglichen. Die flache Form des Schwimmers soll Vibrationen des Meniskus wirkungsvoll ausgleichen. *9* ist ein Anschlag, der die Ausschläge nach beiden Seiten hin begrenzt. Das ganze System kann mittels des ringförmigen Halters *10* aus der Glashülse *11* herausgehoben werden.

Die Arbeit enthält bezüglich der Fertigung des Apparates bemerkenswerte Angaben. Die zuerst als Aufhängung benutzten dünnen Platindrähte zeigten starke Alterungs- und Nachwirkungserscheinungen, die erst durch Verwendung bandförmig ausgewalzter und durch Stromwärme auf $1000^0$ C ausgeglühter Drähte beseitigt wurden. Die Befestigung der Bänder an der Glasrolle *2* geschah durch Umlegen und Erhitzen durch Stromwärme, wodurch Platinband und Glas verschmolzen wurden. Bezüglich der Einzelheiten dieses Verfahrens muß auf die Originalarbeit verwiesen werden.

Die Stabilität des Nullpunktes soll so groß sein, daß noch 0,2 bis 0,25 mm als Ableseeinheit auf einer 1 m entfernten Skala schätzbar sind. Bei diesem Skalenabstand entspricht ein Ausschlag von 1 mm einen Druckunterschied von $9 \cdot 10^{-4}$, so daß der bestenfalls erfaßbare Meßbereich von $2 \cdot 10^{-4}$ bis $5 \cdot 10^{-1}$ mm Hg reicht. Die Eichung wird durch Eintauchen eines Metallkörpers von bekanntem Volumen bewirkt.

*Sewig.*

## Einfluß der Thermometeraufstellung auf die Temperaturaufzeichnungen in Wien, Hohe Warte.

*Von* A. Wagner, *Sitzungsber. d. Wiener Akad. Abt. IIa.* ***138.*** *S. 311—333. 1929.*

Untersuchungen über das Verhalten der Lufttemperatur setzen Thermometeraufstellungen voraus, die zwar die Thermometer gegen unmittelbare Sonnenstrahlung schützen jedoch den Zutritt der Luft ohne thermische Beeinflussung jeder Art, wie z. B. den der Haus- und Bodenstrahlung ungehindert gestatten. Die Frage der besten meteorologischen Thermometeraufstellung erscheint heute in der sogenannten englischen Hütte, die frei aufgestellt wird, ihre grundsätzliche Lösung gefunden zu haben. Die besonderen räumlichen Verhältnisse an den Stationen eines jeden meteorologischen Netzes bedingen jedoch häufig andere Thermometeraufstellungen, vielfach Blechgehäuse, die außerhalb eines Hauses in großer Nähe dieses in Sichtweite von einem Fenster angebracht werden müssen.

Die Einflüsse der verschiedenen Arten der gebräuchlichen Thermometeraufstellungen auf die abgelesenen Temperaturen sind bereits mehrfach untersucht worden.

Der Verf. hat ältere Beobachtungen, die zu dem gleichen Zwecke auf der Hohen Warte in Wien angestellt worden sind, untersucht. Die Beobachtungen, die sich über die Zeit vom November 1904 bis Oktober 1908 erstreckten, betrafen vier Thermometeraufstellungen: 1. eine frei aufgestellte Wildsche Hütte, 2. und 3. je eine Fensteraufstellung mit Blechschutz, die in verschiedenen Stockwerken des Observatoriums an einer Nordwand angebracht waren und 4. ein Jalousiegehäuse vor einem Nordseitenfenster an einem Turm in 21,27 m Höhe über dem Boden. Aus Raumgründen muß das Referat auf die Besonderheiten der einzelnen Aufstellungen, auf die Vorsichtsmaßnahmen, die während der Beobachtungszeit beobachtet wurden und auf die Einzelheiten der interessanten Untersuchung verzichten.

Die Ergebnisse erweisen jedoch, daß trotz der verschiedenartigen Thermometeraufstellungen das Temperaturjahresmittel recht befriedigend übereinstimmt. Auch die Jahresschwankung der Temperatur stimmt annehmbar überein. Jedoch zeigen die Temperatur-Tagesschwankungen erhebliche Unterschiede. Die Verlegung der Thermometerhütte um wenige Meter bewirkt bereits eine Veränderung der Schwankung um 10 Prozent. Die Wichtigkeit von Untersuchungen der betrachteten Art wird erneut eindringlich bestätigt; ihre Unterlassung würde eine Unsicherheit des Begriffes Lufttemperatur an sich bedeuten. *W. Keil.*

## Über zwei Hitzdraht-Viskosimeter.

*(Two hot-wire viscometers.)*

*Von* E. G. Richardson. *Journ. scient. instr.* **6**. *S. 337—343. 1929.*

Verf. berichtet über die Leistungen zweier Geräte, die er zur Messung der Viskosität nach neuen Prinzipien entwickelt hat. Die instrumentellen Einzelheiten treten in der vorliegenden Arbeit jedoch sehr in den Hintergrund, so daß ohne ihre Kenntnis auch auf die breiter behandelte Meßmethodik nicht näher eingegangen werden kann.

Es handelt sich bei der Methode um die Messung der Widerstandsänderung von Hitzdrähten infolge von Wärmeableitung durch das umgebende Medium, womit die Geschwindigkeitsverteilung in dem strömenden Medium — Flüssigkeit — senkrecht zur Strömungsrichtung ermittelt wird.

Zwei Fälle werden behandelt: In dem einen wird die Strömung in einem zylindrischen Rohr abgetastet, in dem anderen in dem Zylinderringraum zwischen zwei konzentrischen Zylindern, von denen der eine in Ruhe bleibt, während der andere sich dreht. An einer Reihe von Kurven wird der Geschwindigkeitsverlauf verschiedener Flüssigkeiten bei laminarem und turbulentem Strömungscharakter gezeigt. Dieser Geschwindigkeitsverlauf wird mit den die Strömung erzeugenden Kräften verglichen, woraus die Viskosität zu ermitteln ist. Es zeigt sich auch, daß der Hitzdraht in Verbindung mit einem Saitengalvanometer die Unstetigkeiten der Strömung sicher zu ermitteln gestattet, was seit der Verwendung des Hitzdrahtes als Meßorgan in Anemometern, d. h. seit längerer Zeit bekannt ist.

Da zur Ermittlung der Viskosität eine Reihe Messungen erforderlich sind, erwartet der Verf. nicht, daß seine Geräte die behandelte Methode als eine neue Methode der Viskositätsmessung einbürgern helfen. *W. Keil.*

## Rechenschieber für Feuchtigkeitsmessungen.

*(A design for a humidity slide-rule.)*

*Von* G. F. Davidson. *Journ. Scient. Instr.* **6**. *S. 318—320. 1929.*

Es wird Aufbau und Anwendung eines Spezialrechenschiebers beschrieben, der zur Auswertung von Feuchtigkeitsmessungen mit dem Aspirationspsychrometer dient.

Der Rechenschieber beruht auf der Reduktion der Gleichung:

$$f = p_w - K\,(t_o - t_w)$$

bzw.

$$\text{relative Feuchtigkeit} = \frac{f}{p_o} \cdot 100,$$

worin

$f$ den Sättigungsdampfdruck beim Taupunkt

$t_0$ bzw. $t_w$ die Temperaturen des trockenen bzw. nassen Thermometers

$p_0$ bzw. $p_w$ die Sättigungsdrucke bei den Temperaturen des trockenen bzw. nassen Thermometers

$K$ eine Konstante (Produkt aus Barometerstand und einer Apparatkonstante)

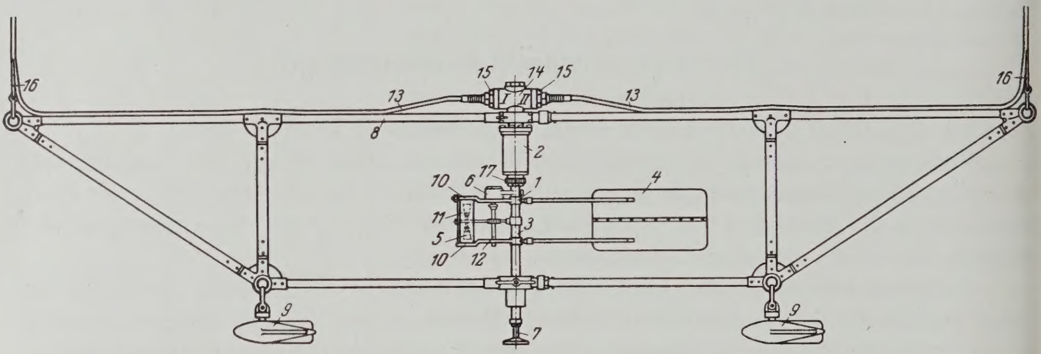
bedeutet. Der Rechenschieber enthält sieben Skalen, davon zwei bewegliche. Für andere Zwecke als Auflösung der Hygrometergleichung dürfte er unbrauchbar sein. *Sewig.*

## Beschreibung eines bifilar aufgehängten, an Bord elektrisch registrierenden Strommessers.

*Von* H. Rauschelbach. Beiheft zu den *Ann. d. Hydrogr. u. marit. Meteorologie 1929.*

Der neue Strommesser von Rauschelbach gehört, wie die älteren von Pettersson und Sverdrup-Dahl[1], zu der Gruppe von Strommessern, die eine bifilare Aufhängung der Sonde anwenden. Er ist nur für Tiefen bis zu etwa 60 m bestimmt, da in größeren Tiefen, namentlich bei Seegang, Verdrehungen der Führungskabel nicht immer auszuschließen sind; zudem würde dann der beträchtliche Widerstand der starken Kabel im Strom störend einwirken.

Der Strommesser ist in einem Rahmen 8 (s. Abb.) von 4 m Spannweite so befestigt, daß er sich frei um die senkrechte Achse 3 drehen kann. Auf der einen Seite der Achse ist der Propeller 5




1 eigentl. Strommesser.
2 Gehäuse f. d. Schaltvorr.
3 Strommesserachse.
4 Stromfahne.
5 Propeller.
6 Kontaktdose.
7 Grundtaster.
8 Strommesserrahmen.
9 Belastungsgewichte.
10 Kabelleitrollen.
11 Schutzring
12 Schneckenradgetriebe.
13 Kabel zum Reg.-Instrument.
14 Strommesserkopf.
15 Kabelanschlüsse.
16 Tragseile.
17 Überwurfmutter.

gelagert, dessen Umdrehungen durch ein Schneckenradgetriebe 12 auf eine Kontaktscheibe übertragen werden, die sich in der Dose 6 befindet und mittels Kabel 13 mit dem Registrierinstrument an Bord in Verbindung steht. Jede 10. oder 20. Propellerumdrehung wird so auf elektrischem Wege zur Aufzeichnung gebracht. Auf der andern Seite der Achse liegt die Stromfahne 4, die den Propeller gegen den Strom drehen soll. Die Geschwindigkeit des Stromes läßt sich dann, nach erfolgter Eichung des Apparates, aus der Zahl der Umdrehungen in der Sekunde bestimmen.

Die Richtung des Stromes zum Strommesserrahmen oder zu dem gegen Verdrehung gesicherten Strommesserkopf 14 wird durch die im Innern des Strommessergehäuses 2 befindliche Schaltvorrichtung dadurch festgelegt, daß zwölf von einander isolierte, mit dem Strommesserkopf in fester Verbindung stehende Kontakthebel an zwölf leitend miteinander verbundenen Nockenscheiben schleifen, die sich mit der Strommesserachse 3 drehen. Von den Kontakthebeln führen Verbindungsdrähte zum Strommesserkopf, der zwei Kabelanschlußstellen 15 besitzt, an die zwei siebenadrige Kabel 13 wasserdicht angeschlossen werden. Zwei Tragseile 16, die mit den Kabeln in feste Verbindung gebracht sind, laufen über die Kabelleitrollen an Bord zu den Kabelwinden, wo der die einzelnen Kabeladern durchfließende Strom mittels Schleifkontakt abgenommen und zum Registrierinstrument geführt wird. Die Anordnung für die Richtungsmessung im Gehäuse ist in sinnreicher, aber doch auch etwas verwickelter Weise so getroffen, daß bei jeder Veränderung des Winkels zwischen der Rahmen- und der Stromrichtung um je 3° eindeutig ganz bestimmte Nocken-

[1] Referat in *dieser Zeitschr. 47. S. 508. 1927.*

scheiben den Kontakthebeln anliegen und die zugehörigen Elektromagnete des Registrierinstruments mit 14 Registrierfedern betätigen. Der erste dieser Magnete erhält zu Anfang einer jeden Minute einen kurzen Stromstoß durch ein Relais, in dessen Primärkreis ein Schiffschronometer mit Minutenkontakt eingeschaltet ist, und verursacht dadurch auf dem Papierstreifen, der in jeder Minute durch ein Uhrwerk um 30 mm verschoben wird, eine genaue Zeitmarke. Der zweite Magnet betätigt die Feder, die die Anzahl der Umdrehungen des Propellers aufzeichnet. Die übrigen Schreibfedern dienen zur Richtungsbestimmung, wobei vorausgesetzt wird, daß die Aufhängepunkte der beiden Kabelleitrollen an Bord genau parallel der Schiffsachse angebracht sind. Der Strommesser vermeidet also zur Bestimmung der Stromrichtung eine Magnetnadel, wodurch jeder mögliche Einfluß des eisernen Schiffskörpers ausgeschlossen ist. Dafür benötigt er aber zu allen Beobachtungszeiten die Angaben des Schiffskompasses. Um zu verhindern, daß der Strommesser in seinem Rahmen bei starkem Strom zu sehr abgetrieben wird, sind zwei Belastungsgewichte 9 vorgesehen.

*Wr.*

## Das Prisma, dessen Brechungsindex kleiner als 1 ist.

*(The prism with an index of refraction less than unity.)*

*Von* H. E. Stauß. *Journ. Opt. Soc. America* ***19*** *S. 167—174. 1929.*

Die Lichtbrechung an einem derartigen Prisma interessiert mit Rücksicht auf die Brechung von Röntgenstrahlen. Für diese Strahlengattung hat die Materie Brechungsindizes vom Betrage $n < 1$. Die Behandlung des Problems der Röntgenstrahlenbrechung an einem Prisma unterscheidet sich nicht von derjenigen für gewöhnliches Licht, wo der Index größer als eins ist. Es ergeben sich nur einige abweichende Resultate. Der brechende Winkel $A$ des Prismas sei größer als 90°. An Stelle der Einfalls- und Brechungswinkel gegen die Lote werden zweckmäßig die Komplementwinkel betrachtet. Das Brechungsgesetz lautet dann für die beiden brechenden Flächen

$$\frac{\cos\Theta}{\cos\varrho} = \frac{\cos\Theta'}{\cos\varrho'} = n < 1 .$$

Die Gesamtablenkung $D$ ist

$$D = \Theta + \Theta' - \gamma ,$$

wo $\gamma$ der Supplementwinkel zum brechenden Winkel $A$ des Prismas ist. Die Ablenkung wächst mit abnehmendem $\gamma$ und erreicht ein „Maximum" für $\gamma = 0$.

Für einen gegebenen Betrag des brechenden Winkels ist die Ablenkung ein Maximum, wenn entweder $\varrho = \gamma$ ist, oder in der Symmetriestellung des Prismas zum Strahlengang ($\Theta = \Theta_c$, kritischer Winkel). Die Bestimmung des Brechungsindex aus dieser Maximumstellung des Prismas erfolgt nach der Formel:

$$n = \frac{\cos(\gamma + D)/2}{\cos\gamma/2} = \frac{\sin(A - D)/2}{\sin A/2} .$$

In dem Spezialfall, daß der brechende Winkel des Prismas ein rechter ist, wird $D = \Theta_c$.

Ein Strahlenbüschel mit Einfallswinkeln, die in der Nachbarschaft des kritischen Winkels $\Theta_c$ liegen, wird nach der Brechung sehr stark ausgebreitet. Die umgekehrte Betrachtung führt zu sehr stark zusammengehaltenen Lichtbüscheln, wenn man einfach den vorigen Strahlengang rückwärts betrachtet. *Flügge.*

## Über einen Quarzspektrographen.

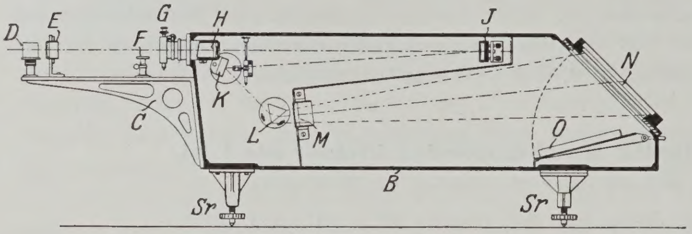
*(Spectrograph en quartz.)*

*Von* Jobin und Yvon. *Revue d'optique* ***8.*** *S. 311—313. 1929.*

Der von Jobin und Yvon gebaute Quarzspektrograph gestattet Aufnahmen innerhalb des Bereiches von 7000—2100 Å.-E. und zeichnet sich durch eine sehr zweckmäßig erscheinende gedrungene Konstruktion aus. An der Hand der schematischen Skizze soll er hier kurz beschrieben werden.

Sämtliche wesentlichen Teile der Spektrographenoptik sind in dem Gehäuse $B$ untergebracht, das 120 cm lang, 35 cm hoch und 12 cm breit ist und auf drei Stellschrauben $Sr$ ruht. Aus der Zeichnung wird rechts nur die vordere Schraube $Sr$ ersichtlich, die die dritte deckt; beide sind an einem beiderseits ausladenden Träger befestigt, der bei dem Transport zur Verminderung der Sperrig-

keit des Instruments in die Längsrichtung des Geräts geschwenkt werden kann. An dem Gehäuse — links — ist der stabile Arm *C* befestigt, der ganz außen das schwenkbare Quarzprisma *D* trägt. Befindet sich das Prisma in ausgeschwenkter Lage, so fallen die von der zu untersuchenden Lichtquelle ausgehenden Strahlen, ohne durch das Prisma zu gehen, auf die ebenfalls aus Quarz bestehende Sammellinse *E*, der das Prisma in eingeschwenkter Lage das Licht der Vergleichsquelle zuführt. Der verstellbare Tisch *F* dient zur Aufstellung von Absorptionskuvetten. *G* ist ein horizontal angeordneter 18 mm langer Spalt, dessen Öffnung mittels Mikrometerschraube meßbar eingestellt werden kann, der auch mit Hilfe eines Schiebers ganz oder teilweise abgedeckt werden kann, wie es zum Zwecke von Vergleichsaufnahmen üblich ist. Der Spalt *G* steht im Brennpunkt des durch die Zerstreuungslinse *H* — aus Quarz — und den Konkavspiegel *J* gebildeten optischen Systems, dessen Brennweite 1,5 mal so lang ist als die Entfernung von *G* nach *J*.




Die Linse *H* ist mittels Zahnstange und einem mit Vierkant und Schlüssel zu betätigenden Trieb zur Scharfeinstellung des Spektrums auf der Platte zu verschieben. Der Spiegel *J* ist starr befestigt; das von ihm reflektierte parallele Strahlenbündel fällt auf den Planspiegel *K*, der in zweifacher Weise verstellbar ist, und zwar in Richtung des Strahlenganges und senkrecht dazu. Dadurch wird es möglich, einmal das Spektrum genau auf das durch die photographische Platte abgedeckte Fenster zu werfen, das andere Mal es längs der Wellenlängenskala zu verschieben. Die Bewegungen werden durch zwei in Vierkanten endenden Schrauben, die mittels besonderer Schlüssel betätigt werden, bewirkt. Werden die Schlüssel nach Einstellung des Instruments abgezogen, ist weitgehende Sicherheit gegen Verstellung erreicht, zumal die Vierkantenden der Schrauben noch durch Kappen geschützt werden. Nach dem Durchgang durch das Cornu-Prisma *L*, aus Quarz von 45 mm Kantenlänge, das aus zwei aneinander gesprengten Hälften besteht, durchsetzt das Strahlenbündel die Quarzlinse *M*, deren optische Achse mit der des Kristalls zusammenfällt, von der es auf eine 9 × 24 cm messenden Photoplatte, die in der Kassette *N* ruht, geworfen wird. Die Länge des Spektrogramms beträgt für den Bereich von 7000—2100 Å.-E. 20 cm bei einer Linienlänge von 12 mm. Da das Spektrum eben ist und frei von Fehlern des Astigmatismus, so können normaldicke Photoplatten verwendet werden. Die Kassette *N* läßt sich seitlich verschieben, so daß 6 Spektrogramme auf einer Platte gewonnen werden können; die 6 Kassettenstellungen werden für das Arbeiten im Dunkelraum durch entsprechende federnde Anschläge sichergestellt. Die Vorrichtung *O* gestattet die Abbildung der Wellenlängenskala auf der Platte. Zu diesem Zweck wird *O* von außen aus hochgeklappt und durch eine nicht gezeichnete im Gehäuseinneren angeordnete Lampe kurz beleuchtet. *W. Keil.*

## Über einen neuen Quarzspektrographen.

*(A new quartz-spectrograph.)*

*Von* H. F. Kurtz. *Journ. Opt. Soc. of Am.* **19.** *S. 378—383. 1929.*

Der im Laboratorium von Bausch und Lomb entstandene Spektrograph für Aufnahmen des Bereiches zwischen 2100 und 7000 Å.-E. ist sehr stabil gebaut. Besondere Vorkehrungen sorgen für Sicherung der Justierung, die jedoch auch weitgehend möglich bleibt.

Auf einer massiven Eisengußplatte, die dem geknickten Strahlengang in ihrem Umriß entspricht, ist die Optik sowie Spalt und Kassette angeordnet. Die Kollimatorlinse hat eine Brennweite von 610 mm für Natriumlicht bei einem Durchmesser von 50 mm. Als Prisma findet ein solches nach Cornu Verwendung; seine Kantenhöhe ist nicht angegeben. Zur Verringerung der Bildkrümmung ist ein zweilinsiges Objektiv vorgesehen, dessen Linsen durch Luft getrennt sind. Brennweite und Öffnung des Objektivs sind denen der Kollimatorlinse gleich. Die Bildkrümmung wird durch das zweilinsige Objektiv soweit beseitigt, daß die Scheitelhöhe der Plattenkrümmung für 25 cm Länge nur ca. 3 mm betragen muß.

Das Ganze wird durch ein abgeteiltes Blechgehäuse gegen Staub und Dämpfe gesichert. An der Grundplatte sind Vorkehrungen getroffen um Hilfsapparate sicher anbringen zu können.

Besondere, bisher nicht bekannte grundsätzliche Neuerungen sind aus der vorliegenden Beschreibung, die auf Schnitt- und Übersichtszeichnungen bedauerlicherweise verzichtet, nicht zu erkennen.

*W. Keil.*

## Plangitterspektroskope mit Wellenlängentrommel.

*Von* E. Haschek. *Sitzungsber. d. Akad. d. Wissensch. Wien. Math.-nat. Kl. Abt. IIa* **138**. *S. 525-528. 1929.*

Es wird ein Autokollimations-Gitterspektroskop beschrieben, welches auf folgender Grundlage arbeitet. Aus dem Beugungswinkel $\varphi$ und der Gitterkonstanten $d$ bestimmt sich die Wellenlänge bekanntlich nach folgenden Formeln:

$$n\lambda = d \cdot \sin\varphi \quad \text{für senkrechte Inzidenz}$$

und

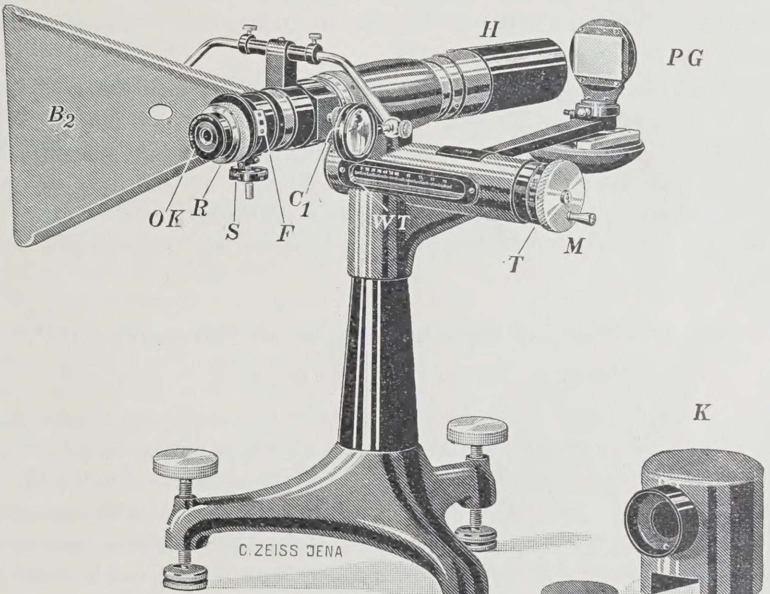
$$n\lambda = d \cdot (\sin\varphi \pm \sin\psi) \quad \text{für Inzidenz unter dem Winkel } \psi.$$

Wird nun vorausgesetzt, daß durch entsprechende Drehung des Gitters stets der Einfallswinkel der Strahlen gleich dem Beugungswinkel gemacht werden kann, daß also die Gleichung erfüllt ist

$$n\lambda = 2d \cdot \sin\varphi,$$

so bedeutet dies, daß einfallender und gebeugter Strahl gemeinsame Richtung haben, mithin in Autokollimation stehen.

Zur Erfüllung dieser Bedingung ist eine mechanische Einrichtung bekannt, die eine unmittelbare Messung des Sinus des Einfallswinkels gestattet. Senkrecht zu einer als fest vorausgesetzten




Geraden wird eine Schraube angebracht, längs welcher eine Mutter wandert, die gelenkig mit einer starren Stange verbunden ist. Das freie Ende dieser Stange wird längs der Geraden verschoben. Dann ist der Weg der Mutter proportional dem Sinus des Winkels zwischen der festen Geraden mit der Stange. Mit dem freien Ende der Stange ist das Plangitter zu verbinden, und zwar so, daß sie mit der Richtung der Gitternormalen zusammenfällt. Diese Einrichtung gestattet, zu jeder Ganghöhe einer Schraube eine Länge der starren Stange zu finden, so daß einer vollen Umdrehung der Schraube, d. h. 100 Trommelteilen, auch 100 Einheiten der Wellenlängenänderung im Spektrum der gewählten Ordnungszahl entsprechen. Der Versuch hat gezeigt, daß hierfür die Ångströmsche Einheit gewählt werden darf, da bei guten Gittern tatsächlich eine Meßgenauigkeit erreicht werden kann, die diese Wahl rechtfertigt.

Die Abbildung zeigt den Aufbau des Instruments. Auf einem Dreifußstativ ist das Autokollimationsfernrohr gelagert. Durch seitliche Öffnungen bei *F* wird der Spalt beleuchtet, dessen Breite mit der Schraube *S* eingestellt werden kann. Das Plangitter *PG* ist auf einem kurzen Schlitten parallel der Fernrohrachse verschiebbar. Von dem Gitterhalter führt ein Arm zu einer mit ihm gelenkig verbundenen Mutter, die längs der Wellenlängenteilung *WT* wandert. Diese letztere ist entsprechend dem Spektrum erster und zweiter Ordnung beziffert. Man liest hier die Tausender und Hunderter der Wellenlänge in Ångström ab, die Zehner und Einer unter Schätzung der Zehntel an der Trommel *T*.

Natürlich hat das Instrument nicht die Helligkeit eines Prismen-Spektralapparates, so daß es vorteilhaft nur zum Studium heller Lichtquellen Verwendung findet. So einfach und bequem das Autokollimationsspektroskop für visuelle Beobachtung ist, hat es doch den schweren Mangel, daß es nicht für Photographie des Spektrums verwendet werden kann. Der Verf. sucht eine Lösung für dieses Problem.

Er hält den Winkel zwischen dem einfallenden und dem gebeugten Strahl konstant, indem am Spektrometer Kollimator und Fernrohr festgestellt werden und das Gitter drehbar gemacht wird. Der Winkel $2\alpha$ ist gleich der Summe von Einfalls- und Reflexionswinkel, wenn im Fernrohr das Spaltbild eingestellt ist. Wird das Gitter um einen Winkel $\omega$ gedreht, so fällt in das Fernrohr gebeugtes Licht, und es ist nun folgende Formel gültig:

$$n\lambda = 2\,d\cdot\cos\alpha\cdot\sin\omega.$$

Auch jetzt ist die Wellenlänge dem Sinus des Beugungswinkels proportional, nur lautet der Proportionalitätsfaktor $2\,d\cdot\cos\alpha$, statt wie oben nur $2\,d$. Wählt man zweckmäßig den Winkel $2\alpha$ gleich $90^0$, so lautet die Konstante einfach $d\sqrt{2}$.

Man kann nun eine analoge mechanische Vorrichtung zum Messen der Wellenlängen anwenden Es ist jedoch nicht zweckmäßig, das Gitter verschiebbar zu machen, vielmehr ist es besser, das Gitter nur zu drehen und die Schraube samt ihrer Lagerung in einem Schlitten beweglich zu machen. Der Arm, mit dem das Gitter fest verbunden ist, braucht nicht die Richtung der Gitternormalen zu haben, sondern wird so gelegt, daß die Bedienung der Schraube möglichst bequem wird. In dieser Anordnung läßt sich nun visuelle Beobachtung mit Fernrohr oder Photographie mit Kamera in gleicher Weise anwenden. *Flügge.*

## Ultrarote Strahlen zur Signalgebung und Orientierung im Nebel.

*Von* Rothaas. *Zeitschr. d. Ver. d. Ing.* **73.** *S. 1859—1860. 1929.*

In einer vom V. D. I aus Anlaß der im September 1929 in Danzig abgehaltenen Verkehrstagung veranstalteten Sitzung wurde in verschiedenen Vorträgen mit Aussprache der frühere und heutige Stand des durch das Thema gekennzeichneten Fragenkomplexes behandelt. Bereits ältere physikalische Erkenntnisse lehren, daß ultrarote Strahlen, insbesondere kurzwellige, unter $2\,\mu$ durch Wasserdampf und Nebel verhältnismäßig wenig geschwächt hindurchgehen. Sie eignen sich demnach zur Signalübermittlung bei infolge von Nebel unsichtigem Wetter, und scheinen für die Luftfahrt, der die Orientierung im Nebel bisher fast unüberwindliche Schwierigkeiten bereitet, die noch fehlende Möglichkeit zuverlässiger Signalübermittlung zu gewährleisten. Zu dieser Erwartung berechtigt der Umstand, daß die gradlinige Ausbreitung der ultraroten Strahlung scharfe Ortsbestimmung, nicht nur qualitative Schlüsse zuläßt.

Die größten Schwierigkeiten schien bisher das Empfangsorgan für die Strahlung zu bieten Neuere Versuche mit Thalofide-Photozellen, deren lichtempfindliche Schicht aus einer Thallium-Sauerstoff-Schwefelverbindung besteht, sind sehr erfolgversprechend ausgefallen. Günstig erweisen sich diese Zellen deshalb, weil sie für ultrarote Strahlung eine stark erhöhte elektrische Leitfähigkeit annehmen gegenüber der durch sichtbare Strahlung bedingten. Es ist bereits eine Versuchsanordnung eines Ultrarotpeilgerätes mit der Thalofidezelle gebaut worden, die recht befriedigende, sowohl quantitative wie qualitative Ergebnisse ermöglichte. Über diese Anordnung ausführlicher zu berichten erübrigt sich, da sie mehr einem Anfangstadium zu entsprechen als eine endgültig wegweisende zu sein scheint. *W. Keil.*

## Radioaktive Leuchtfarben, ihre Verwendung und Beurteilung.

(W. Tempel, *Meßtechnik 1929, Heft 11*, und H. Stamm, *D. Uhrmacher-Ztg. 1929. S. 917—919.*)

Fast zu gleicher Zeit sind zwei interessante Abhandlungen über dieses Thema erschienen, und zwar von W. Tempel im Heft 11 der *Meßtechnik*, der vor allem auch über die weiteren Anwendungsmöglichkeiten der Leuchtfarben im Meßgerätebau berichtet, sowie von H. Stamm im Heft 50 der *Deutschen Uhrmacher-Zeitung*, der insbesondere die Beurteilung der Güte und der Leuchtfähigkeit von Leuchtzifferblättern für Uhren behandelt. Besonders bemerkenswert ist dabei, daß Tempel gewissermaßen die Ansicht der Hersteller der Leuchtfarben vertritt, Stamm dagegen die Ansicht der verarbeitenden Industrie, speziell der Uhren- und Taxameter-Industrie; es ist dabei festzustellen, daß die Ansichten der beiden Verfasser sich in vielen Punkten weitgehend decken, was ein Zeichen für die jahrelange praktische und wissenschaftliche Durcharbeitung dieses Gebiets ist. Um das Bild abzurunden, wäre es sicher wünschenswert, auch die Ansichten der Verbraucher von Instrumenten mit Leuchtausrüstung aus ihrer praktischen Erfahrung kennenzulernen.

Während vor dem Krieg Leuchtfarben vor allem für Taschenuhren Verwendung fanden, ist in den letzten Jahren in großem Umfange auch der Nachttischwecker mit Leuchtzifferblatt ausgerüstet, womit auch offenbar einem weitgehenden Bedürfnis Rechnung getragen ist, ferner neuerdings sogar Wanduhren und Taxameter. Gerade auf dem letzten Gebiet dürften die Erfahrungen der Autodroschkengesellschaften von Interesse sein. W. Tempel weist des weiteren auf die Verwendung der Leuchtfarben für die Geschwindigkeitsmesser auf Reichsbahnlokomotiven, für die Skalen und Abdeckscheiben von Röntgenschalttischen sowie für Flugzeuge hin, für deren Bordmeßgeräte die Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt neuerdings die Ausstattung mit leuchtenden Zeigerblättern angeordnet hat.

Beide Verfasser betonen eindringlich die Notwendigkeit einer sehr sorgfältigen Auswahl der zu benutzenden Leuchtmasse und einer sorgfältigen Verarbeitung. Die heute verwendeten Leuchtfarben bestehen aus einem Gemisch von Zinksulfid und Mesothor sowie Radiothor. Das Zinksulfid, das für sich allein die Erscheinung der Photoluminiszenz zeigt, d. h. nach vorheriger Beleuchtung im Dunkeln eine kurze Zeit nachleuchtet, müßte, für sich allein verwendet, etwa alle Viertelstunde wieder beleuchtet werden, was natürlich praktisch unausführbar ist. Früher sind derartige inaktive Leuchtfarben mehrfach verwandt worden, natürlich ohne Erfolg; sie sind aber selbst heute noch im Handel. Zur Erzeugung eines dauerleuchtenden Effektes werden daher radioaktive Stoffe zugesetzt, die ihrerseits durch Strahlung das Zinksulfid zum Leuchten bringen (Radioluminiszenz). Das an sich am stärksten und anhaltendsten wirksame Radium ist, wie W. Tempel zeigt, nicht nur teuer, sondern auch insofern unvorteilhaft, als durch seine starke Strahlungswirkung die Kristalle des Zinksulfides derartig angegriffen werden, daß in verhältnismäßig kurzer Zeit ihre Leuchtfähigkeit zerstört ist. Man verwendet daher heute Mesothor, einen an sich verhältnismäßig wenig radioaktiven Stoff, der aber seinerseits im Laufe der Zeit aus sich heraus Radiothor entwickelt, das genügend radioaktive Wirkung hat. Man mischt Mesothor und Radiothor derart, daß im gleichen Maße, wie das Radiothor an Aktivität abnimmt, neues Radiothor durch das Mesothor erzeugt wird.

Für die Beurteilung der Leuchtgüte weist Stamm darauf hin, daß keineswegs, wie vielfach irrtümlich angenommen wird, die Intensität der Färbung einen Maßstab für die Güte bildet; diese ist nur eine Frage des Geschmacks und ist ohne Einfluß auf die Leuchtfähigkeit leicht veränderlich. Tempel betont insbesondere, daß der Wert der im Handel vielfach benutzten Aktivitätskurven zweifelhaft ist, da er mit dem Helligkeitsverlauf nicht identisch ist. Beide Verfasser behandeln, übrigens nahezu übereinstimmend, die Bedeutung der Preisfrage bei der Auswahl. Nach Stamm bewegen sich die Preise im Verhältnis von 1:5 und sind in erster Linie von dem Verhältnis des Zinksulfidgehaltes zu dem Mesothor- und Radiothorgehalt abhängig.

Stamm gibt des weiteren vier verschiedene Verfahren zum Auftragen der Leuchtfarben an, davon zwei von Hand aus, zwei mit Vorrichtungen, während Tempel auf dem Standpunkt steht, daß nur die Handverfahren genügende Qualität ergeben, da bei den anderen Verfahren die Masse nicht genug pastös aufgetragen wird. Als Bindemittel werden Zaponlack und Damarlack verwandt. Der erstgenannte hat den Nachteil, daß bei Leuchtgarnituren auf Metallblättern die Oxydierung zwischen dem Zinksulfid und dem Metall begünstigt wird, während der Damarlack für

die Serienfabrikation den großen Nachteil hat, daß er sehr langsam trocknet, wodurch die Lagerung der fertigen Teile Schwierigkeiten bereitet. Eine einwandfreie Lösung dieses Problems ist bis jetzt noch nicht gefunden. Nach Tempel soll das Mischungsverhältnis Leuchtmasse : Lack gleich 60 : 40 sein.

Da das Bindemittel sich sehr rasch von dem Leuchtmaterial absetzt, ist bei der Verarbeitung auf eine ständig innige Vermischung zu achten. Ist im Verhältnis zuviel Lack aufgetragen, so leidet die Qualität derartiger Leuchtgarnituren sehr, die an einem sehr glänzenden Aussehen zu erkennen sind.

Im Gegensatz zu dem reinen Handelsinteresse mancher Hersteller von Leuchtfarben weist Stamm darauf hin, daß eine im Verhältnis zu dicke Schicht von Leuchtmaterial eher schadet als von Nutzen ist, da die von tiefer liegenden Schichten ausgehende Strahlung in den darüber liegenden absorbiert wird, also nach außen gar nicht zur Wirkung kommt.

Außer dem bereits erwähnten Oxydierungsprozeß wirkt sich nicht allein die Luftfeuchtigkeit ungünstig aus, sondern auch Druckerschwärze, wie sie vielfach zur Umrandung der Ziffern benutzt wird. Manche Zifferblätter zeigen nach geringer Zeit bereits ein braunes Aussehen und werden immer unbrauchbarer. Auch Leuchtgas wirkt ungünstig auf die Leuchtfarbe, ebenso wie zu hohe Temperatur, durch die der Lack der Leuchtmasse zerstört wird. Der Versuch mancher Laien, die Leuchtkraft durch Bestrahlung mit einer künstlichen Lichtquelle zu erhöhen, ist also nicht nur unnütz, da dadurch nur die rasch abklingende Photoluminiszenz verstärkt wird, sondern auch direkt für das Material gefährlich.

Besonders ausführlich behandelt Stamm schließlich die Beurteilung der Leuchtfähigkeit eines fertigen Zifferblattes. Die Feststellung der absoluten Lichtstärke kommt nur für Laboratoriumszwecke in Frage. Bei den in der Praxis des Verbrauchers notwendigen subjektiven Verfahren sind alle Versuche kurzzeitiger Prüfung in der Dunkelkammer unmittelbar nach dem Transport aus dem hellen Licht völlig zwecklos, da hier nur die vorübergehende Photoluminiszenz beobachtet wird und außerdem die Augen der Menschen sich ganz verschieden von Helligkeit auf Dunkelheit umstellen. Die einzige Möglichkeit zur objektiven Beurteilung besteht nach Stamm in einer dem tatsächlichen Gebrauch entsprechenden Prüfung, also z. B. einer Nachttischuhr im Laufe der Nacht, wenn die Photoluminiszenz bereits abgeklungen ist. Da die absolute Leuchtkraft einer guten Leuchtmasse natürlich verhältnismäßig klein ist, so überdeckt jede noch so kleine Lichtquelle in der Nähe ihre Wirkung, was insbesondere bei Autouhren und Meßgeräten auf Verkehrsmitteln zu beachten ist. Zu erwähnen ist schließlich noch, daß eine kurzzeitige Bestrahlung mit einer roten Lampe die Photoluminiszenz auslöscht. Außer den von beiden Verfassern genannten Verwendungsmöglichkeiten dürfte sich vielleicht auch die Verwendung für elektrische Lampenschalter empfehlen damit man im Dunkeln nicht die Schalter zu suchen braucht. Freilich dürfte dabei die Preisfrage von entscheidender Bedeutung sein, da diese Schalter ja durchweg Massenfabrikation sind; über bescheidene frühere Anfänge kleiner Firmen ist daher m. W. auf diesem Gebiet bisher keine weitere Verwendung erfolgt. *J. Baltzer.*

## Über zwei Apparate nach B. Macků.

*Von* J. Zahradníček. *Physikal. Zeitschr.* ***30.*** *S. 925—928. 1929.*

### 1. Ein neues Extensometer.

Der Elastizitätskoeffizient der Dehnung kann vorteilhaft mit einem in der Abb. 1 schematisch dargestellten Instrument bestimmt werden. Aus zwei Stahldrähten $D_1$, $D_2$, deren Elastizität ermittelt werden soll, deren Länge etwa 75 cm betragen muß, wird mit Hilfe der Streben $a_1$, $b_1$, $b_2$ und $a_2$ — letztere nicht gezeichnet — eine Art Rahmengehänge gebildet, in dem die eigentliche Meßapparatur angeordnet wird. Letztere besteht aus der Kammer $K$, die durch die Gummimembran $M$ abgeteilt wird. Unter der Membran ist der bewegliche Kolben $Q$ vorhanden, der sich auf die Strebe $b_1$ stützt. Die obere Kammerhälfte ist mit Quecksilber gefüllt; in sie ragt die Kapillare $G$, die durch die Hülse $H$, an der Strebe $b_2$, gehalten wird. Die lichte Weite der Kapillare beträgt 1,5 mm. Bewegt sich der Kolben $Q$ bei Belastung der Strebe $a_1$ infolge der dadurch bewirkten Dehnung der Drähte, so werden seine kleinen Bewegungen im Verhältnis der Querschnitte des Kolbens und der Kapillare vergrößert auf die Quecksilbersäule in dieser übertragen. Mit Hilfe

einer an der Kapillare angebrachten Skala kann die Differenz der Quecksilberhöhe leicht festgestellt werden. Zur Eichung wird der Kolben durch eine zu diesem Zwecke besonders anzubringende Mikrometerschraube verstellt und die entsprechende Höhenänderung des Quecksilbermeniskus an der erwähnten Skala abgelesen. Die Auswertung der Beobachtung geschieht in bekannter Weise, wobei zu beachten ist, daß, da zwei Drähte belastet werden, nur die Hälfte der Belastung in Rechnung gestellt werden kann und die beobachtete Länge mit dem reziproken Wert des Querschnitt-Übersetzungsverhältnisses multipliziert werden muß. Wie die mitgeteilten Ergebnisse zeigen, stimmen die mit dem beschriebenen Gerät bestimmten Werte des Elastizitätskoeffizienten mit den dynamisch gemessenen Werten recht gut überein.

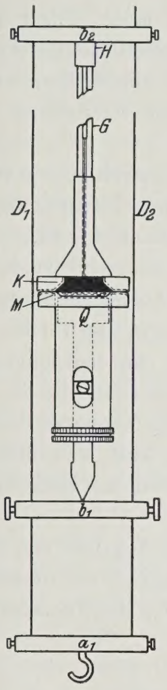



Abb. 1. Extensometer.

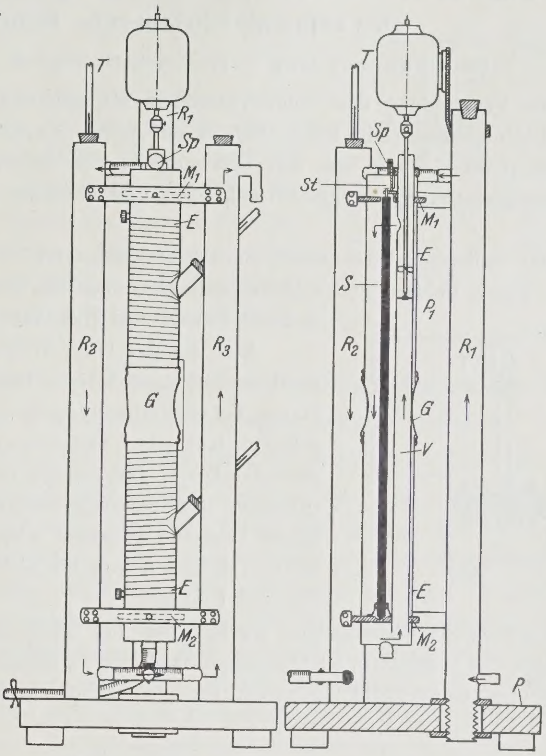



Abb. 2. Apparat zur Bestimmung der Wärmeausdehnungskoeffizienten.

## 2. Ein neuer Apparat zum Messen des Wärmeausdehnungskoeffizienten von Stäben.

Wie aus Abb. 2 ersichtlich wird, bilden drei mit der massiven Grundplatte $P$ durch Verschrauben fest verbundene Eisenrohre $R_{1-3}$ ein Stativ, das die übrigen Teile des Geräts trägt. Durch kurze Rohrstücke sind die Röhren $R_{1-3}$ so verbunden, daß sie ein Leitungssystem bilden, das von Wasser gleichmäßig durchflossen werden kann. Zwischen den Rohren sind an diesen in einem Abstand von 50 cm zwei kreisrunde Messingplatten $M_1$, $M_2$ befestigt. Ihr Abstand bleibt mit der Temperatur des das Röhrensystem durchfließenden Wassers konstant. Diese Platten tragen je ein $3 + 23{,}5$ cm langes Rohr $E$, $E$ aus Eisen von 6 cm Durchmesser; die längeren Rohrenden sind einander zugekehrt und durch einen dünnen Gummischlauch $G$ verbunden, so daß ihre Ausdehnung beim Erhitzen den Abstand der Platten $M_1$, $M_2$ nicht beeinflußt. Das Rohrsystem $E$ bildet das Gefäß für das Temperierbad und wird von einer Widerstandsheizpackung außen umhüllt. Zur Überwachung der Badtemperatur sind in der oberen und unteren Badhälfte je ein außen ablesbares Thermometer vorgesehen. Außerdem ragt von oben bis nahe über den unteren Boden des Badgefäßes — Rohr $E$ — ein Rohr $V$ in das Bad, in dem ein motorangetriebener kleiner Propeller $P_1$ für ununterbrochene Zirkulation des Bades zur Verhinderung von Temperaturschichtung sorgt. Ein Thermometer $T$, dessen Gefäß in das Rohr $R_2$ des Statives taucht, dient zur Überwachung der Konstanz der Wassertemperatur im Stativ. In dem noch freien Raum im Badgefäß $E$ wird

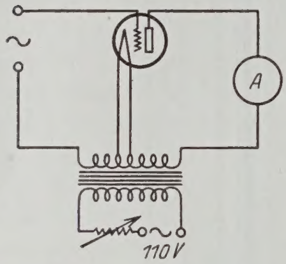
der zu messende Stab $S$ so aufgestellt, daß er mit einer Stirnfläche auf eine auf der oberen Fläche der Unterplatte $M_2$ vorgesehene stumpfe Spitze zu stehen kommt. Oben reicht der Stab bis in die obere Plattenfläche in einer in der Platte — $M_1$ — vorgesehenen Bohrung und stützt einen Fuß eines mit den beiden anderen Füßen auf der Platte $M_1$ stehenden Statives *St*, das einen kleinen Spiegel *Sp* trägt. Die durch Ausdehnung des Stabes bei Erwärmung bewirkte Verstellung des Spiegels ergibt dann den mit Hilfe eines Fernrohres meßbaren Effekt. Die Eichung des Apparates wird ebenfalls mit einer Mikrometerschraube vorgenommen. *W. Keil.*

## Das selbstgleichrichtende Röhrenvoltmeter.

*Von* Channcey Guy Suits. *Helvetia Physica Acta II. S. 3—32. 1929.*

Die Verwendung des Röhrenvoltmeters als Spannungsmesser hat trotz einiger geradezu idealer Eigenschaften (sehr hoher Widerstand, geringe Kapazität, Frequenzunabhängigkeit) gewisse Nachteile (Überwachung von drei Spannungen: für Gitter, Faden und Anode, Empfindlichkeit gegenüber geringen Spannungsschwankungen und besonders der durch die Wellenform bedingte Fehler).

Die vorliegend beschriebene Bauart des selbstgleichrichtenden Röhrenvoltmeters vermeidet viel von diesen Fehlern und zeichnet sich gegenüber den meisten bekannten Instrumenten durch einfache Bauart und Handhabung aus (Schaltung s. Abb.).




Das an das 110-V-Wechselstromnetz anzuschließende Instrument enthält einen kleinen Transformator mit drei getrennten Wicklungen für Gitterspannung und Anodenspannung und für die indirekt geheizte Kathode. Gittervorspannung und Anodenspannung sind phasenverkehrt. Die einzige, zu überwachende Größe ist die Primärspannung des Transformaters, die mittels Regelwiderstand und Voltmeter konstant gehalten wird. Als Röhre wird eine indirekt geheizte Telefunkenröhre REN 2204 oder ein ähnliches Rohr mit großer Steilheit benutzt.

Theoretische Überlegungen ergeben, daß bei hohen Frequenzen die Angaben von Frequenz und Phase der angelegten, zu messenden Spannung E, ebenso von der Frequenz des niederfrequenten Betriebsstromes unabhängig sind. Die gleichgerichtete Komponente $\delta i_a$ des Anodenstroms ist durch:

$$\delta i_a = \frac{k}{4} E^2$$

gegeben, was mit den Messungen in gutem Einklang steht. Die Frequenzabhängigkeit kann oberhalb einer Meßfrequenz von etwa 500 Hertz vernachlässigt werden.

Der Wellenformfehler verschwindet beim selbstgleichrichtenden Röhrenvoltmeter, ebenso wie beim batteriegeheizten Gerät dann und und nur dann, wenn

$$\frac{\partial_2 i_a}{\partial e_g^2} = \text{const}$$

ist, d. h. wenn die Charakteristik durch ein quadratisches Polynom ausgedrückt werden kann außerdem bei kleinen Beträgen der zu messenden Spannung unabhängig von der Form der Charakteristik. Der Betrag des Wellenformfehlers ist jedoch beim selbstgleichrichtenden Röhrenvoltmeter, wie näher dargelegt wird, geringer als bei Gleichstrombetrieb einer Röhre mit gut quadratischer Kennlinie. Die Abhängigkeit zwischen Anodenstrom und Gitterspannung kann bei dem neuen Instrument linear gemacht werden.

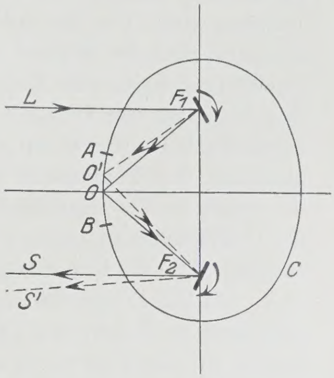
Wenn die Frequenz, der zu messenden Spannung sich der Frequenz der Betriebsspannung nähert, werden die Angaben von der Phase abhängig. Im Spezialfall der Frequenzgleichheit ist das Instrument direkt als Phasenmesser brauchbar, worüber in einer späteren Arbeit berichtet werden soll. *Sewig.*

## Ausschaltung magnetischer Störungen bei hochempfindlichen Nadelgalvanometern.

*(A method of climinating magnetic disturbance of high sensitive galvanometers.)*

*Von* A. B. D. Cassie, *Journ. Scient. Instr.* 7. *S.* 21—22. 1930.

Hochastasierte Nadelgalvanometer, deren Empfindlichkeit man bis $10^{-11}$ A/mm bei 1 m Skalenabstand treiben kann, sind trotz magnetischen Schutzes sehr empfindlich gegen äußere Störfelder, die sich im Laboratorium oft nicht vermeiden lassen. Die vorgeschlagene Methode beruht auf Verwendung zweier in Reihe geschalteter Galvanometer, die in geringer Entfernung nebeneinander aufgestellt werden (s. Abb.). Der Lichtstrahl $L\,F_1\,O\,F_2\,S$ wird an beiden Galvanometerspiegeln und an einem Hohlspiegel $AB$ reflektiert, der einen Teil einer um $F_1$ und $F_2$ als Brennpunkte beschriebenen Ellipse bildet. Durch Betrachtung des Strahlengangs für eine gleichsinnige Ablenkung beider Spiegel (Störausschlag) sieht man leicht ein, daß sich derartige Ausschläge in erster Näherung aufheben. Dies wurde mittels zweier Drehspulspiegelgalvanometer für größere Ausschläge festgestellt, als sie infolge von Störfeldern normalerweise je vorkommen.




*Sewig.*

## Über metallographisches Polieren und eine selbsttätige Poliermaschine.

*(Metallographic polishing. I. Automatic matallographic polishing machine.)*

*Von* S. Epstein und J. P. Buckley. *Bur. of stand. journ. of research.* 3. *S.* 783—794. 1929.

Da die in der Metallographie angewendeten Polierverfahren verschiedene systematisch noch nicht überprüfte Wege einschlagen und diese besondere Polierarbeit deshalb vielfach eine kunstartige Fertigkeit darstellt, haben die Verfasser die Aufgabe übernommen, die Frage zu klären, ob sich eine von persönlichen Fertigkeiten unabhängige Technik entwickeln läßt, die höchsten Ansprüchen genügt. Von der Erwägung ausgehend, daß hierzu eine weitgehend selbsttätig arbeitende Maschine Voraussetzung ist, setzten sie sich als erstes Ziel: eine einfach zu bedienende, dabei jedoch gleichmäßig arbeitende Maschine zu bauen, die solche Politur gewährleistet, wie sie die Metallographie im Laboratorium benötigt. Die selbsttätigen Methoden, wie sie in der praktischen Optik für Glas Anwendung finden, lassen sich für metallographische Zwecke aus dem Grunde nicht anwenden, da hier meist weichere Werkstücke zu bearbeiten sind, bei denen es immer weniger auf die geometrische Genauigkeit der Flächen, als vielmehr auf eine Oberfläche, die alle wesentlichen Strukturmerkmale des Probestückes in einer durch die zur Anwendung gelangten Schleif- und Polierverfahren nicht verfälschten Weise, zeigt.

Die neue Maschine ähnelt in ihrem Aufbau grundsätzlich der Schleif- und Poliermaschine der Optik. Auf einem standfesten Tisch ist eine runde Scheibe von 23 cm Durchmesser, wie die Polierscheibe der Optik horizontal angeordnet, die von einem Motor über ein Getriebe mittels Riemen stoßfrei angetrieben wird und ungefähr 250 Umdrehungen pro Minute macht. Diese Scheibe dient als Unterlage für die Gewebedecken, die bei dieser Art Polierarbeit unerläßlich sind. Die Achsspindel der Polierscheibe läuft in Kugellagern, die sämtlich gegen das Eindringen von Wasser und Schleifmittel abgedichtet sind. In ihrem wichtigsten Bestandteil, dem Halter des Arbeitsstückes — Untersuchungsprobe — unterscheidet sich die neue Maschine von der bekannten optischen Poliermaschine erheblich. Um die Polierplatte gleichweit voneinander abstehend sind drei durchbohrte Säulen angeordnet, in denen die Spindeln der entsprechenden drei drehbaren Arme gelagert sind, die die eigentlichen Halter für die Arbeitsstücke führen. Dazu sind die äußeren Armenden als Gleitlager ausgebildet, in denen die erwähnten Halter, die aus einer Spindel bestehen, die oben ein Zahnrad trägt und unten, der Polierscheibe gegenüber in einem hochgestellten Dreifuß endet, sich drehen können. Die drei Klauen des Dreifußes halten beim Arbeiten an der Maschine den besonders geformten unten mit einem Flansch versehenen Ring, der das Arbeitsstück, dessen Größe ungefähr 30 mm Durchmesser und 36 mm Höhe betragen muß, aufnimmt. Für den notwendigen

Druck auf das Arbeitsstück sorgt eine oben auf dem Arm befestigte Feder, die einstellbar ist und auf die Halterspindel in achsialer Richtung drückt. Da diese Feder allein befriedigende Ergebnisse nicht gewährleistet, ist an dem Arm noch ein Hebel drehbar angebracht, der an seinem unteren Ende genutet ist und mit der Nut den Flansch des Halteringes sicher berührt. Der durch Federn belastete Hebel steht stets so, daß der von ihm vermöge der Spannung der Federn auf das Arbeitsstück ausgeübte Druck in einer der Drehrichtung der Polierscheibe genau entgegengesetzten Richtung wirkt. Das Zahnrad am oberen Ende der Halterspindel greift wie das der beiden anderen in ein exzentrisches Zahnrad ein; von letzterem wird es und damit zugleich auch der Halter selbst angetrieben. Dauernden Eingriff der Zahnräder an den Halterspindeln sichern Federn, die unter dem Tisch an dem die Säule der Arme durchstoßenden Enden der Armachse angreifen. Das exzentrische Zahnrad sitzt auf einer die Mitte der Polierscheibe durchsetzenden, in deren Achsbuchse geführten, vom Hauptmotor über ein Kegelradgetriebe angetriebenen Achse. Es bewirkt, daß bei der gewählten Kegelradübersetzung die Arbeitsstückhalter in der Minute zweimal längs eines Radius der Polierscheibe hin und her gehen. Gleichzeitig drehen sich die Halter langsam, so daß die Polierrichtung, d. h. die Richtung der Polierbewegung ununterbrochen wechselt.

Als Mittel zum Befestigen der zu polierenden Stücke in dem Haltering hat sich Schwefel sehr bewährt. Bakelit und bakelitähnliche Stoffe eignen sich noch besser; sie erfordern jedoch besondere Hilfsapparaturen, da sie nur unter Druck geschmolzen werden können und unter Druck in den Zwischenraum zwischen Haltering und Arbeitsstück eingebracht werden können. Auf einer photographischen Abbildung wird die für Verwendung von Bakelit als Einbettungsmasse für das Werkstück gebaute Apparatur, ein elektrischer Ofen zum Schmelzen von Bakelit unter Druck und zum Einbringen des Werkstückes in den Haltering, gezeigt. Es scheinen aber auch noch andere Stoffe als Einbettungskitt sich zu eignen.

Vor dem Polieren auf der Maschine werden die Arbeitsstücke von Hand mit Hilfe von Schmirgelpapier geschliffen, das wie üblich auf Scheiben, die um horizontale Achsen rotieren, befestigt ist. Erst nach dem Schleifprozeß, im Laufe dessen immer feineres Schmirgelpapier verwendet wird, werden die Arbeitsstücke mit Bakelit oder anderen Kittmitteln in den Haltering zum Polieren eingebettet. Als Poliermittel wird gröberes, danach feineres Alundum, zuletzt Magnesia von Merk verwendet. Für die Alundumpolitur wird die Polierscheibe mit einer Decke aus grobem Baumwollgewebe überzogen, für die letzte Politur mit Magnesia mit Samt.

Über die zahlreichen Einzelheiten der Vorarbeiten für das systematische Studium der Poliermethoden, zu dem die beschriebene Maschine gebaut wurde, fehlt hier der Raum, zu berichten ebenso dazu, die Forschungsziele, die sich die Verfasser gesetzt haben, im einzelnen ausführlich zu behandeln. *W. Keil.*

## Bücherbesprechungen.

**H. Boegehold,** Über die Entwicklung der Theorie der optischen Instrumente seit Abbe. Sonderabdruck aus Bd. VIII der Sammlung Ergebnisse d. exakten Naturwissenschaften. Mit 123 Textabb. III u. 514 S. Gr.8°. Julius Springer, Berlin 1929. M. 38.—, geb. M. 39,60.

Es ist ein außerordentlich dankenswertes Unternehmen, daß die in so vielen in- und ausländischen Zeitschriften zerstreuten Abhandlungen über die modernen Anschauungen zur Theorie der optischen Abbildung hier zusammengetragen werden, um einer geschlossenen Darstellung der Abbeschen Theorie der optischen Instrumente und der Fortbildung dieser im einzelnen zu dienen. Nicht nur ein historischer Abriß, sondern auch ein Leitfaden durch die moderne geometrische Optik und Abbildungslehre ist dieser Beitrag aus den bestens bekannten „Ergebnissen der exakten Naturwissenschaften". Nicht zuletzt ist er ein Zeugnis für die fruchtbare Fortbildung Abbescher Grundanschauungen in den 25 Jahren nach dem Tode dieses Altmeisters optischer Wissenschaft.

### I. Die Abbesche Darstellung der Theorie der optischen Instrumente und ihre Fortbildung im einzelnen.

Die Gauss'sche Dioptrik wurde von Abbe in einer besonderen Form dargestellt, der die Gesetze der kollinearen, projektiven Geometrie zugrunde liegen. Diese Lehre kann für abgeschlossen

gelten, wirklich Neues wird kaum mehr gefunden werden. Neben der Abbeschen Darstellung ist in England und Amerika eine Behandlungsweise üblich, die von der Fortpflanzung der Wellenfläche ausgeht. Brillentheoretiker bevorzugen die Gullstrandsche Dioptrienrechnung.

Die Lehre von der Strahlenbegrenzung und Strahlenvermittlung geht auf Abbe zurück und wurde von seinen Nachfolgern, namentlich M. von Rohr, ausgebaut. Die Bedeutung der Augendrehung wurde von Augenärzten wie F. Ostwalt, M. Tscherning und A. Gullstrand ins rechte Licht gesetzt.

Was die Fehlertheorie angeht, so ist die Lehre von den reinen Farbfehlern seit dem 18. Jahrhundert theoretisch fertig. Der Farbenunterschied der sphärischen Abweichung wurde schon von A. C. Clairaut, J. D'Alembert, S. Stampfer und C. F. Gauss behandelt, später von Abbe beim Mikroskop-Objektiv erfolgreich bekämpft und nochmals von A. Kerber untersucht. Gleichfalls theoretisch fertig ist der Farbenunterschied der Vergrößerung; hierzu bemerkten F. Staeble und M. Berek die Ähnlichkeit mit den Formeln für die Hebung der Koma.

Die sphärischen Abweichungen im weiteren Sinne werden nach zwei Verfahren untersucht: trigonometrische Durchrechnung von Strahlen durch ein vorgegebenes System; Entwicklung in Potenzreihen nach Öffnung und Gesichtsfeld, von denen die Abweichungen abhängen. Seit L. Seidel sind fünf Fehler dritter Ordnung bekannt. Parallel der Seidelschen Darstellung geht das Abbesche Verfahren der Brechungsinvarianten.

Über die moderne Entwicklung der allgemeinen Abbildungsgesetze ist folgendes zu bemerken: Um die Jahrhundertwende wurde von H. Bruns und F. Klein der allgemeine Beweis erbracht, daß ein dreifach ausgedehntes Gebilde unmöglich im Sinne der Gauss'schen Lehre projektiv abgebildet werden könne. Im Verein mit Maxwell folgte, daß zwei verschiedene Flächen im allgemeinen nicht durch dieselbe Folge scharf abzubilden sind. Nach H. Bruns werden für die scharfe Abbildung einer Fläche ein Eikonal oder vielmehr unendlich viele erhalten; es ist aber noch unentschieden, ob jedes Eikonal durch eine Folge optischer Flächen herstellbar ist oder ob Beschränkungen bestehen. Von Abbe wurde 1873 die Sinusbedingung gefunden. Dieser Satz von der scharfen Abbildung achsensenkrechter Linien- oder Flächenelemente ist beständig Gegenstand von Verallgemeinerungen gewesen, und zwar in doppelter Weise; einerseits wurde er auf nicht achsensymmetrische Folgen ausgedehnt, andererseits wurden Gesetze dafür gesucht, daß ein unendlich kleines oder selbst endliches Flächenelement zwar nicht scharf, aber doch gleichmäßig abgebildet wird.

Auf den Gesetzen der optischen Bilder, der Strahlenbegrenzung und der optischen Fehler baut sich die Theorie der optischen Instrumente auf. Erwähnenswert ist vor allem die erfolgreiche theoretische Behandlung der Sehhilfen, besonders der verschiedenartigen Brillen, wofür Gullstrand die Anregung im neuen Jahrhundert gab. Die Erkenntnis der Bedeutung des Augendrehpunktes ermöglichte die Hebung des Astigmatismus schiefer Bündel. Die Bildfeldwölbung hätte sich der Schärfenkugel anzupassen. Die Unmöglichkeit, gleichzeitig beiden Bedingungen zu genügen, führte zu der noch offenen Frage, was das Wichtigere sei.

Die geometrische Optik genügt nicht in allen Fällen. So hat bereits 1835 F. M. Schwerd für das Fernrohr die Beugung berücksichtigt. K. Strehls Lebensarbeit ist der Hinweis, daß die Beschränkung auf die geometrische Optik zu Irrtümern führen kann. Er berechnet die Helligkeitsverteilung für die scharfe und unscharfe Abbildung und diskutiert vom beugungstheoretischen Standpunkt die Bedeutung der verschiedenen Bildfehler. Unabhängig von ihm arbeitet A. E. Conrady an denselben Problemen.

Die Abbesche Theorie von der Abbildung nicht selbstleuchtender Objekte hat mehrfach Widersprüche erregt. Der Streit um diese Theorie ist noch im Gang (Berek, Boas, Groosmüller, Lakeman, Siedentopf).

**II. Begriff und Einteilung optischer Instrumente. Optische Abbildung und optische Projektion.**

Die modernste Auffassung (1927) über den Begriff der optischen Instrumente führte H. Boegehold zu folgender, zweifellos am besten zutreffenden Definition: „Alle die Vorrichtungen sollen unserem Sehwerkzeug äußere Gegenstände in veränderter Gestalt, Größe, zu anderer Zeit, an anderen Orten zeigen.“ Zweckmäßig wird die Klasse der Sehhilfen (Brillen) zur Korrektion

fehlsichtiger Augen hiervon ausgeschlossen. Gelegentlich eines Rechtsstreites über diesen Gegenstand wurde tatsächlich im Jahre 1927 durch eine englische Spruchbehörde die Anerkennung der Brille als optisches Instrument verneint.

Die eigentlichen optischen Instrumente teilt M. von Rohr in verdeutlichende und wiederholende. Erstere geben ein merklich größeres Netzhautbild als das freie Auge, letztere dienen dazu, Gegenstände zu Zeiten und an Orten, oder in Bewegungszuständen zu sehen, wo dies sonst nicht möglich ist. Verdeutlichende Instrumente sind das Fernrohr und das Mikroskop, wiederholende sind Zeichenvorrichtungen, photographische Objektive, Projektionseinrichtungen, Höhlen- und Röhrengucker, Periskope, Zeitlupen usf. Sobald ein Bild entworfen und aufgefangen wird, darf man nicht vergessen, „daß ein solches nach allen Seiten strahlendes Bild in einem gewissen Sinne unabhängig wird von dem erzeugenden Instrument ... Hier kann man zweckmäßig den Begriff der ununterbrochenen Abbildung einführen, mit dem eine neue, vom Augenorte des Beschauers bedingte Regelung des Verlaufs der Hauptstrahlen zu verbinden ist.“ (M. von Rohr.)

Die Wiedergabe eines Gegenstandes erfolgt durch Abbildung oder durch optische Projektion (Gullstrand). Ein einzelner Punkt wird „abgebildet“, wenn ihm auf der Bildseite ein „Bildpunkt“ entspricht. Wenn sich das ganze Bündel, nachdem es die Folge durchlaufen hat, im Bildpunkte schneidet, so heißt die Abbildung scharf. Die Abweichung der Bildstrahlen von der verlangten Vereinigung ist der Fehler. Doch ist auch ohne Abbildung häufig eine mehr oder minder deutliche Wiedergabe des Gegenstandes zu erkennen, da dem einzelnen Dingpunkte zwar kein Punkt, aber doch ein kleiner Fleck entspricht, so daß die Teile des Gegenstandes noch einigermaßen gesondert erscheinen. Außer der Undeutlichkeit kommt als Fehler noch die mangelnde Treue der Wiedergabe (Verzerrungen und Verzeichnungen) in Betracht. (Anmerkung des Referenten: Sollte man die Fehler der Wiedergabe nicht besser als „Undeutlichkeit“ einerseits, „Unähnlichkeit“ andererseits bezeichnen?) Hierüber orientiert sofort die optische Projektion (Bezeichnung nach Gullstrand), indem man die Strahlung von dem Dingpunkt durch die punktförmig angenommene Blende verfolgt und den Schnitt mit der Auffangfläche feststellt. Das Verfahren der optischen Projektion wurde bereits von den Nachfolgern Abbes für die Umdrehungsfolgen angewandt und für die projizierenden Strahlen der Begriff „Hauptstrahl“ gewählt. Da die Auffangfläche nicht in jedem Fall die geometrisch-optische Bildfläche ist (z. B. bei der Photographie räumlicher Objekte), so ist über die Wiedergabe des Gegenstandes von M. von Rohr (1897) eine eigenartige Betrachtung erstmalig angestellt worden. Der Auffangebene entspricht objektseitig eine ihr konjugierte Ebene, die „Einstellebene“ heißt. Die Eintrittspupille der Linsenfolge wird von jedem Dingpunkt auf die Einstellebene projiziert und der Projektionskreis durch das Linsensystem auf der Auffangebene abgebildet. Die Unschärfe wird durch die Größe des Bildkreises bestimmt. Die Betrachtung ist von Nutzen bei Untersuchungen über „Schärfentiefe“ und Bildwölbung.

Die allgemeinen Gesetze der optischen Abbildung sind von Gullstrand abgeleitet und sind Verallgemeinerungen der Gauss'schen Abbildung im paraxialen Gebiet einer Umdrehungsfolge. Gullstrand geht zunächst von einem beliebigen Strahl aus, dessen Umgebung er betrachtet. Er bedient sich des Satzes von Malus: Durch Differentiation leitet Gullstrand die Gesetze der optischen Abbildung und Projektion her.

a) Durch einmalige Differentiation (Variation) entsteht die Invariante erster Ordnung, die auf das Snelliussche Brechungsgesetz führt.

b) Invarianten zweiter Ordnung (Gesetze erster Ordnung): Die Differentiation nach den Variablen des Objektstrahlenbüschels ergibt die astigmatischen Bildpunkte und die Hauptschnitte. Die Variation nach dem Hauptstrahlenbündel führt auf die Gesetze der optischen Projektion.

c) Invarianten dritter Ordnung (Gesetze zweiter Ordnung): Die weitere Differentiation führt zu den Komawerten. Verbindung mit Variationen gibt die Neigung der Bildflächen, die Krümmung der einen Klasse von Bildlinien, und für die optische Projektion die Asymmetrie der Vergrößerungen.

d) Invarianten vierter Ordnung (Gesetze dritter Ordnung): Im Sonderfall der Umdrehungsfolge erhält Gullstrand die fünf Seidelschen Bildfehler. Allgemein kommen 15 Größen in Frage, darunter für den Achsenpunkt drei Werte, Verallgemeinerungen der sphärischen Abweichung.

### III. Die verschiedenen Formen des Eikonals und ihre Benutzung im allgemeinen.

Die Eikonale sind Lichtwege zwischen Punkten im Dingraum und solchen im Bildraum. Name und allgemeiner Begriff rühren von H. Bruns (1895) her, doch gehen sie bereits auf W. R. Hamilton zurück. In den letzten Jahrzehnten hat man die Eikonale zur Entwicklung der Regeln für die optische Abbildung häufig benutzt. Namentlich sind die Arbeiten von T. Smith in diesem Zusammenhang zu erwähnen. Man unterscheidet drei Arten von Eikonalen: das Streckeneikonal (auch charakteristische Funktion); das Winkeleikonal (auch bloß Eikonal) und das gemischte Eikonal, je nachdem man als Koordinaten Strecken, Richtungskosinusse oder beide gemischt verwendet. Die Eikonale geben die Möglichkeit, aus vier bekannten Koordinaten im Dingraum die vier übrigen für jeden Strahl im Bildraum zu bestimmen. Ein Eikonal kennzeichnet also die Verwandtschaft, die zwischen den Strahlen im Dingraume und denen im Bildraume besteht. Es muß daher auch erkennen lassen, für welche Punkte eine anastigmatische Abbildung, für welche zwei astigmatische Bildpunkte bestehen, welche Vergrößerungen, Verzerrungen und Abweichungen auftreten. Außer den oben genannten Eikonalen hat Bruns noch weitere angegeben.

Die Ausdrücke für die Eikonale bei Brechung oder Reflexion an einer einzelnen Fläche werden von H. Boegehold für die verschiedenen vorkommenden Flächenformen und Flächengleichungen zusammengestellt. Bemerkenswert ist, daß das Eikonal eines Systems von mehreren brechenden Flächen gleich der Summe der Eikonale der Einzelflächen ist. Als Potenzreihe dargestellt enthält es keine konstanten und bei passender Wahl des Koordinatensystems auch keine linearen Glieder. Dagegen können vom quadratischen Gliede ab sämtliche Verbindungen der Potenzen vorkommen. Die Koeffizienten der Reihe bestimmen die Eigenschaften der Abbildung. Die niedrigsten Glieder der Reihenentwicklung sind von T. Smith bestimmt worden. Allgemeine Betrachtungen über die Glieder zweiter Ordnung gestatteten Smith eine Lösung der Frage, inwieweit ein Astigmatismus des Auges durch eine Brille gehoben werden kann. Es gelingt immer durch Zusatz einer torischen Brille zum Auge, aber es wird im allgemeinen eine Verzerrung (ein Vergrößerungsunterschied) und eine Verdrehung stattfinden, die nur unter bestimmten Bedingungen verschwinden. Diese Bedingungen ermittelt Smith unter gewissen Annahmen für die Kristallinse und die Hornhaut. Für Umdrehungsflächen ist das Eikonal eine Funktion dreier Größen und läßt sich als Potenzreihe dieser drei Größen darstellen.

### IV. Die allgemeinen Gesetze der Abbildung und der optischen Projektion.

Dieser Abschnitt ist eine Wiedergabe der Ableitungen von H. Boegehold und M. Herzberger. Die Ergebnisse der Ableitungen wurden schon von A. Gullstrand, allerdings auf ganz anderem Wege, hergeleitet. Die beiden erstgenannten Autoren wenden die Eikonalrechnung an und werden auf die drei Gullstrandschen Klassen von Abbildungssystemen geführt: „Tordierte Systeme“, „Semitordierte Systeme“ und „Retordierte Systeme“. Weiterhin wird die Verallgemeinerung der Newtonschen Abbildungsgleichung für die Gullstrandschen Orthogonalsysteme entwickelt. Die Gullstrandsche Lehre von den abbildbaren Linien wird berührt. Eine weitere Verallgemeinerung der Newtonschen Gleichung auf astigmatische Strahlenbündel schließt sich an. Als Verallgemeinerung der Huygens-Helmholtzschen Gleichungen ergibt sich die Gullstrandsche Fundamentalgleichung.

### V. Umdrehungsfolgen.

Es handelt sich hier um eine Diskussion der Glieder der Potenzreihenentwicklung des Eikonals, angewandt auf Umdrehungsfolgen. Aus der Entwicklung bis zu den Gliedern zweiter Ordnung werden die Newtonsche Gleichung und die Formel für die Winkelvergrößerung bei der Gaußschen Abbildung hergeleitet. Für eine einzelne achsensymmetrische Fläche wird die bekannte Formel für die Achsenschnittweiten herausgearbeitet und auf die entsprechenden Formeln nach T. Smith für schiefe Bündel hingewiesen.

Alsdann wird die Beziehung der höheren Glieder der Eikonalentwicklung zu den Abweichungen auf der Grundlage der Smithschen Abhandlungen betrachtet. Sechs Koeffizienten genügen, um die Fehler niedrigster Ordnung (die Seidelschen Abweichungen) für alle Ding- und Blendenlagen zu bestimmen. K. Schwarzschild bestimmte die Seidelschen Koeffizienten für asphärische Flächen.

Das nächst höhere Glied der Potenzreihen-Entwicklung des Eikonals hat 10 Koeffizienten, von denen 9 die Fehler für eine bestimmte Ding- und Blendenlage bedeuten. Petzval dagegen kam auf 12 unabhängige Koeffizienten. Boegehold erörtert, warum beide Ansichten bis zu einem gewissen Grade im Recht sind.

T. Smith gab eine wichtige Gruppeneinteilung der Fehler verschiedener Ordnungen.

K. Schwarzschild hat 1905 einen Überblick über die Fehler fünfter Ordnung veröffentlicht, und A. Kohlschütter hat das von Schwarzschild angegebene Verfahren zur Bestimmung der Seidelschen Koeffizienten auf die Fehler fünfter Ordnung angewandt. Allgemeine Betrachtungen über Fehler höherer Ordnung sind in den Abhandlungen von T. Smith zu finden.

Das Kapitel schließt mit Ausführungen über die Hebung des Astigmatismus außer der Achse und die Bedeutung der Petzval-Bedingung.

## VI. Die scharfe oder doch gleichmäßige Abbildung.

Die Verallgemeinerung der Abbe-Helmholtz'schen Sinusbedingung ist Gegenstand einer großen Reihe von Schriften gewesen. Das allgemeine Gesetz kann sich nur auf Winkel zwischen Strahl und Linienelement beziehen und hat daher nicht Sinus-, sondern Cosinusform (Bruns, Thiesen, Straubel).

Für scharfe Abbildung ist dies der bekannte Cosinussatz, von dem die Sinusbedingung ein Sonderfall ist. Es läßt sich beweisen, daß derselbe Satz auch gilt, wenn die Abbildung nicht mehr scharf ist, sondern dem Dingpunkt im Bildraum eine Kaustik entspricht. Der Cosinussatz läßt sich benutzen, um die nach Staeble und Lihotzky benannte Bedingung dafür abzuleiten, daß die nicht abweichungsfreie Abbildung eines Achsenpunktes einer Umdrehungsfläche nicht weiter verschlechtert wird, wenn man um ein unendlich kleines Stück aus der Achse herausgeht. Es ist dies die Isoplanasie-Bedingung. Eine Anwendung des Cosinussatzes auf den noch allgemeineren Fall, daß schon dingseitig kein Punkt, sondern ein beliebiges Strahlenbündel vorliegt, ist bisher noch nicht restlos geglückt.

Von Boegehold, und in etwas einfacherer Form von Herzberger mittels des Cosinussatzes bewiesen wurden noch zwei Sätze, die die scharfe Abbildung von Flächen- oder Raumelementen betreffen.

Eine Abbildung durch eine Umdrehungsfolge wird gleichmäßig genannt, wenn jedem Punkte einer achsensenkrechten Ebene bildseitig ein Bündel entspricht, das zu einem Hauptstrahl symmetrisch ist, ohne daß die sphärische Abweichung außer der Achse denselben Betrag hat wie auf der Achse. Boegehold leitet die Formel ab, die das Eikonal in diesem Falle haben muß. Ein Grenzfall (Dingpunkt in unmittelbarer Nähe der Achse) ist die Staeble-Lihotzkysche Bedingung , die in die Abbesche Sinusbedingung übergeht, wenn die sphärische Abweichung Null wird, und die als Sonderfall der allgemeinen Cosinusbedingung herauskommt, wenn die sphärische Abweichung sich außerhalb der Achse nicht ändert.

Ein weiterer Sonderfall ist der Herzbergersche Fall der homöoplanatischen Abbildung, wo aus der Kaustik die Nachbarkaustik bestimmt werden kann, und auch aus der axialen Kaustik Schlüsse auf die Abbildung eines endlich von der Achse entfernten Punktes gezogen werden können.

Soll ein Linienelement scharf abgebildet werden, so muß im allgemeinen die Cosinusbedingung erfüllt werden. Bei einer Umdrehungsfolge genügt die Hebung der sphärischen Aberration und die Erfüllung der Abbeschen Sinusbedingung, um zu verbürgen, daß ein achsensenkrechtes Flächenstückchen scharf abgebildet wird.

Die Aufgabe, endliche Flächenstücke durch eine endliche Zahl brechender Flächen scharf abzubilden, ist, nach Ansicht Boegeholds, allgemein nicht zu lösen. „Ein Beweis oder eine Widerlegung dieser Vermutung wäre aber ein wichtiger Fortschritt.“

*Flügge.*

Nachdruck verboten.

Verantwortlich für die Redaktion: Oberregierungsrat Professor Dr. F. Göpel in Charlottenburg.
Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

# Zeitschrift für Instrumentenkunde.

*Kuratorium:*

Prof. Dr. E. **Kohlschütter** in Potsdam, Vorsitzender, Prof. Dr. R. **Straubel** in Jena,
Prof. Dr. F. **Weidert** in Berlin-Zehlendorf, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat i. R. Prof. Dr. F. **Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

50. Jahrgang. **November 1930.** Elftes Heft.

## Über die Dezimalgleichung beim Ablesen von Skalen.

Von

**Helmer Bäckström** in Stockholm.

(Fortsetzung von S. 575.)

### § 4. Die subjektive Einteilung des Skalenintervalles.

Nachdem im vorigen Paragraph einige allgemeine Erfahrungen über die Dezimalschätzung gewonnen wurden, dürfte es angezeigt sein, hiernach einige Beobachtungsreihen im einzelnen zu untersuchen, um neue Gesetzmäßigkeiten herauszufinden. Zu diesem Zweck sind in der Tabelle 6 die ersten 10 Versuchsreihen vollständig aufgenommen, wobei die Beobachtungen nach den Einstellungswerten der verschiedenen Skalen geordnet sind.

Untersuchen wir zuerst die Reihe 1 der Tabelle, so zeigt sich, daß sämtliche Einstellungen vom Teilstriche 0,01 bis zum Strich 0,07 als 0,0 angegeben sind. Danach wird 0,1 zwischen 0,08 und einer oberen Grenze geschätzt, die etwa bei 0,11 oder 0,12 liegt. Die Einstellung 0,11 wurde zwar als 0,2 geschätzt, da aber dafür eine folgende Einstellung als 0,1 geschätzt wurde, scheint es angemessen, die Grenze eben zwischen 0,11 und 0,12 zu legen. In derselben Weise hat der Verfasser auch in anderen ähnlichen Fällen gehandelt. Gehen wir zu den 0,2-Schätzungen über, so nehmen die entsprechenden Einstellungen den Raum zwischen 0,12 und 0,34 ein, wonach das Gebiet der 0,3-Dezimale anfängt, das wiederum einen großen Teil des 0,4-Gebietes deckt. Es geht also daraus hervor, daß bei der Schätzung jede Dezimalzahl innerhalb eines gewissen Raumgebietes im Skalenintervall angegeben wird. Um dies übersichtlicher zu zeigen, sind die geschätzten Dezimalgebiete der Reihe 1 in der Tabelle 7 aufgeführt. Die übrigen Reihen zeigen ziemlich übereinstimmende Resultate, was leicht aus der Tabelle 6 gesehen werden kann. Die Dezimalgrenzen sind dort durch punktierte Linien angedeutet. Schon aus dieser ersten Prüfung dürfte es klar sein, daß die eigentümlichen persönlichen Fehler bei der Dezimalschätzung ihre Ursache in einer fehlerhaften Einteilung des Skalenintervalles haben.

Im allgemeinen sind die Grenzen zwischen den Dezimalstellen sehr scharf und die Übergangszonen nehmen selten mehr Raum als etwa 0,01—0,02 Skalenteile ein.

Beobachten wir jetzt die Reihen 2 bis 10 der Tabelle 6, so finden wir dort vollkommen gleichartige Verhältnisse. Die Grenzen liegen nahezu an denselben Stellen wie bei der Reihe 1; die Verschiedenheiten zwischen den Reihen sind jedoch größer als die Unsicherheitszone jeder einzelnen Reihe. Es ist deshalb wahrscheinlich, daß man je nach persönlichen zufälligen Stimmungen und Verhältnissen die subjektive Einteilung des Skalenintervalles ein wenig ändert. Da solche Abstufungen des persön-

Tabelle 6. Das vollständige Ziffermaterial der Versuchsreihen 1—10.

| Wirkliche Teilung | Geschätzte Dezimalstelle bei der Versuchsreihe Nr. | | | | | | | | | | Wirkliche Teilung | Geschätzte Dezimalstelle bei der Versuchsreihe Nr. | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0,01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,51 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 0,02 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,52 | 6 | 6 | 5 | 6 | 5 | 6 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 0,03 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,53 | 5 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| 0,04 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,54 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| 0,05 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,55 | 6 | 6 | 6 | 7 | 6 | 6 | 6 | 7 | 6 | 6 |
| 0,06 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0,56 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 7 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| 0,07 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0,57 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 7 | 7 | 6 | 7 | 6 |
| 0,08 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,58 | 6 | 6 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 6 |
| 0,09 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,59 | 6 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 6 | 7 |
| 0,10 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,60 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| 0,11 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,61 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| 0,12 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 0,62 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| 0,13 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 0,63 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| 0,14 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 0,64 | 7 | 7 | 7 | 7 | 8 | 8 | 7 | 8 | 7 | 7 |
| 0,15 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0,65 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 8 | 7 | 8 | 7 | 7 |
| 0,16 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0,66 | 7 | 8 | 7 | 7 | 8 | 8 | 8 | 7 | 7 | 7 |
| 0,17 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0,67 | 7 | 8 | 8 | 7 | 7 | 8 | 8 | 7 | 7 | 8 |
| 0,18 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0,68 | 8 | 8 | 7 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 7 | 7 |
| 0,19 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0,69 | 7 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 0,20 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0,70 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 0,21 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0,71 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 0,22 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0,72 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 0,23 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0,73 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 0,24 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0,74 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 0,25 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0,75 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 0,26 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0,76 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 0,27 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0,77 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 0,28 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0,78 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 0,29 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0,79 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 0,30 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0,80 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 0,31 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0,81 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 0,32 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0,82 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 0,33 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 0,83 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 0,34 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0,84 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 0,35 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 0,85 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 0,36 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 0,86 | 8 | 8 | 9 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 0,37 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 0,87 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 9 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 0,38 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 0,88 | 8 | 8 | 8 | 9 | 8 | 8 | 8 | 9 | 8 | 9 |
| 0,39 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 0,89 | 9 | 9 | 9 | 8 | 8 | 9 | 9 | 9 | 8 | 9 |
| 0,40 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 0,90 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| 0,41 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 0,91 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| 0,42 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 0,92 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| 0,43 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 0,93 | 9 | 9 | 9 | 9 | 0 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| 0,44 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 0,94 | 9 | 9 | 9 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,45 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 0,95 | 0 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,46 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 0,96 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,47 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 0,97 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,48 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 0,98 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,49 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 0,99 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,50 | 5 | 5 | 5 | 6 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 1,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

lichen Zustandes auch während einer Reihe stattfinden können, ist es wahrscheinlich, daß auch die zufälligen Fehler an den Dezimalgrenzen hierin ihre Ursache haben.

Tabelle 7. Die Schätzungsgebiete der verschiedenen Dezimalen bei der Versuchsreihe Nr. 1.

| Dezimale | Schätzungsgebiet | Dezimale | Schätzungsgebiet |
|---|---|---|---|
| 0,1 | 0,08—0,11 | 0,6 | 0,53—0,59 |
| 0,2 | 0,12—0,34 | 0,7 | 0,60—0,68 |
| 0,3 | 0,35—0,42 | 0,8 | 0,69—0,88 |
| 0,4 | 0,43—0,46 | 0,9 | 0,89—0,94 |
| 0,5 | 0,47—0,52 | 1,0 | 0,95—1,07 |

Die Unsicherheitszone zwischen zwei Dezimalgebieten ist, wie gesagt, sehr schmal. Schon hieraus ist ersichtlich, daß die Größe des Dezimalschätzungsfehlers hauptsächlich auf der fehlerhaften persönlichen Einteilung beruht und nur in sehr geringem Grade von zufälligen Einflüssen bedingt ist. Dies gilt sowohl von den durchschnittlichen Fehlern einer größeren Beobachtungsreihe als von den durchschnittlichen Schätzungsfehlern einer einzelnen Dezimale. Wir werden später diese Tatsache noch weiter bestätigt finden.

Die Versuchsreihen 1—10 waren, wie früher gesagt, sämtlich von einer einzigen Versuchsperson ausgeführt. Zahlreiche Beobachtungsreihen mit anderen Versuchspersonen haben jedoch die gewonnenen Resultate durchaus bestätigt. Jede Person hat eine ihm persönliche Einteilung des Skalenintervalles. Um einige Beispiele solcher subjektiven Einteilungen zu geben, sind in der Abb. 13 diese Verhältnisse für drei Personen graphisch dargestellt. Die ganze Breite der Abbildung entspricht einem Skalenteil. Durch gestrichelte Linien werden die Lagen der wirklichen Dezimalgrenzen angedeutet. Außerdem sind die geschätzten Dezimalgebiete durch verschiedene Felder angegeben, wobei der Deutlichkeit wegen die Gebiete der ungeraden Dezimalen schwarz gezeichnet sind. Bei richtiger Einteilung der Skala würden die Mittelpunkte der schwarzen Gebiete natürlich mit den Dezimallinien 1, 3, 5, 7 und 9 zusammenfallen und außerdem die schwarzen und weißen Gebiete gleiche Ausbreitung zeigen. Die subjektive Einteilung des Intervalles war aber bei den drei Personen sehr verschieden davon.

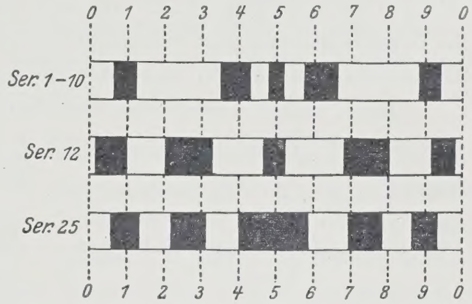


Abb. 13. Subjektive Einteilung eines Skalenintervalles bei drei verschiedenen Beobachtungen.

## § 5. Die Symmetrie der subjektiven Einteilung des Skalenintervalles in der Nähe des Teilstriches und bei der Intervallmitte.

Es wurde bereits oben festgestellt, daß die Dezimalschätzungen sich symmetrisch im Verhältnis zu den 0,0- oder 0,5-Schätzungen verteilen. Es liegt unter solchen Umständen sehr nahe anzunehmen, daß eben die Schätzungsgebiete dieser zwei Dezimalen symmetrisch zu den wirklichen 0- und 0,5-Lagen angeordnet sind. Dies scheint auch — wenigstens in erster Annäherung — in Abb. 13 bestätigt zu werden. Es mag darum in diesem Zusammenhang erwähnt werden, daß die Reihen in Abb. 13 nicht absichtlich gewählt sind, um diese Gesetzmäßigkeit zu zeigen. Eine große Anzahl anderer Reihen würden diese Verhältnisse viel deutlicher bestätigen. Die erwartete Symmetrie geht übrigens auch aus den Tab. 6 und 7 ziemlich klar hervor. Da aber diese Frage

von großer Bedeutung für die spätere mathematische Bearbeitung der Versuchsreihen ist, so wurde sie näher geprüft.

Mit $n_+$ wurde die Anzahl der Nullschätzungen bezeichnet, die oberhalb der genauen Nullage (d. h. oberhalb des Striches) liegen; in gleicher Weise wurden die unterhalb der genauen Nullage liegenden Nullschätzungen mit $n_-$ bezeichnet. Bei Beobachtung an liegender Skala, von links nach rechts abgelesen, bedeutet also $n_+$ die Anzahl der Nullschätzungen, deren Einstellung auf der rechten Seite vom Nullstrich aus belegen sind. Der Abstand zwischen den Mittelpunkten des geschätzten Nullgebietes und der exakten Nullage wird mit $a_0$ bezeichnet. Bei Reihen von 100 Beobachtungen bekommt man unter solchen Umständen den Wert $a_0$ aus folgender Gleichung:

$$a_0 = \frac{n_+ - n_-}{2} \cdot 10^{-2} \text{ Skalenteile}. \qquad 5)$$

In gleichartiger Weise kann man den Wert $a_5$ des Abstandes zwischen dem Mittelpunkt des geschätzten 0,5-Gebietes und der wirklichen 0,5-Lage bekommen.

Über das Zeichen der Größen $a_0$ bzw. $a_5$ mag folgendes bemerkt werden: Ein positives Zeichen bedeutet, daß die geschätzte Lage oberhalb der richtigen oder beim Ablesen an liegender Skala von links nach rechts zu weit nach rechts verlegt wurde In derselben Weise sagt ein negatives Zeichen der Größe $a_0$ und $a_5$, daß die geschätzte Dezimallage zur linken Seite der richtigen Lage plaziert wurde.

Nach diesen Gesichtspunkten wurden die Reihen 1—10 näher geprüft: die dabei bekommenen Werte $a_0$ und $a_5$ sind in der Tabelle 8 aufgenommen, wo sie in Skalenteilen als Einheiten angegeben sind.

Tabelle 8. Die Abweichungen der geschätzten Lagen der 0,0- und 0,5-Dezimale von den richtigen Lagen.
Versuchsreihen: 1—10.
Versuchsperson: Bm.

| Reihe | $a_0$ | $a_5$ |
|---|---|---|
| 1 | + 0,010 | — 0,005 |
| 2 | + 0,005 | — 0,005 |
| 3 | + 0,005 | + 0,010 |
| 4 | + 0,005 | — 0,005 |
| 5 | — 0,010 | ± 0,000 |
| 6 | ± 0,000 | ± 0,000 |
| 7 | ± 0,000 | ± 0,000 |
| 8 | ± 0,000 | + 0,005 |
| 9 | ± 0,000 | + 0,005 |
| 10 | ± 0,000 | + 0,005 |
| Im Mittel: | + 0,0015 | + 0,001 |

Beim Durchsehen der Tabelle finden wir, daß die Verschiebungen der 0,0- und 0,5-Lagen niemals mehr als 0,01 Skalenteile betragen. Außerdem sind die Zeichen der Verschiebungen abwechselnd positiv und negativ. Nimmt man die Mittel der $a_0$- bzw. $a_5$-Werte, so werden folglich nur sehr geringe Beträge herauskommen. Die Verschiebung der Nullage beträgt also nur + 0,0015 Skalenteile und die Verschiebung der 0,5-Lage nur + 0,001 Skalenteile. In beiden Fällen sind diese Größen kleiner als die durch zufällige Fehler bedingte Unsicherheit. Man kann deshalb ohne weiteres feststellen, daß die betreffende Versuchsperson keine Tendenz zur unsymmetrischen Anordnung der 0- und 0,5-Gebiete zeigt.

Vier von einer anderen Person (Ww.) ausgeführte Reihen gaben als Mittel die Verschiebungen $a_0 = -0{,}003$ und $a_5 = -0{,}005$ Skalenteile. Drei Reihen der Versuchsperson Sg. gaben in gleicher Weise die Verschiebungen + 0,004 bzw. — 0,013 Skalenteile im Mittel. Aus vier Reihen der Versuchsperson Fn. wurden die Verschiebungswerte ± 0,000 sowohl bei der 0,0- als bei der 0,5-Lage erhalten. Endlich wurden noch 24 Personen in dieser Hinsicht und mit denselben Ergebnissen untersucht. Sämtliche Versuchspersonen schätzten die 0,0- und 0,5-Lagen innerhalb der Fehlergrenzen richtig, wenn man eine einzige Versuchsperson ausnimmt, bei welcher der Wert $a_5$ — 0,028 Skalenteile betrug. Da aber diese Beobachter sämtlich nur einen Versuch

ausführten, muß auch eine so große einzelne Abweichung als zufällig betrachtet werden. Die $a_0$- und $a_5$-Werte der übrigen Personen waren aber viel kleiner und außerdem von verschiedenem Vorzeichen. Werden die Mittel sämtlicher Werte berechnet, bekommt man die Werte $a_0 = -0{,}0011$ und $a_5 = +0{,}0027$ Skalenteile.

Es dürfte also mit ziemlich großer Sicherheit behauptet werden können, daß, wenn überhaupt Anzeichen von Unsymmetrie in der Nähe des Teilstriches und der Intervallmitte vorliegen, so können sie nur sehr unbedeutend sein. Bei der folgenden Untersuchung wird also angenommen, daß die subjektive Einteilung eines Skalenintervalles im Verhältnis zu den Teilstrichen und den Mittelpunkten der Intervalle vollkommen symmetrisch ist.

Da weiter komplementäre Dezimalen gleiche Schätzungsfrequenzen haben, kann man schließen, daß die Symmetrie der Einteilung über das ganze Intervall ausgedehnt ist.

Dies gilt mit relativ großer Genauigkeit. Es mag jedoch darauf aufmerksam gemacht werden, daß die Genauigkeit der Symmetrie am besten beim Teilstrich ausgeprägt ist. Es fehlen somit nicht Andeutungen zu einer geringen Unsymmetrie bei gewissen auch sehr geübten Beobachtern in der Nähe der Intervallmitte. Diese Tendenzen sind jedoch sehr schwach und werden vorläufig vernachlässigt. Wie der Verfasser bereits an anderer Stelle[1] gezeigt hat, werden diese Tendenzen bei gewissen Ablesungsmethoden stärker ausgeprägt. Sie treten auch in hohem Grade bei sogenannten unsymmetrischen Skalen hervor. Bei normal abgelesenen symmetrischen Skalen sind sie jedoch, wie hier gezeigt wurde, sehr unbedeutend.

Untersuchen wir jetzt, in welchem Umfange die subjektive Einteilung des Skalenintervalles in der Literatur behandelt ist, so ist die Ausbeute sehr gering. Mehrere Forscher haben wohl diese persönlichen Einflüsse erwähnt, aber keine Mitteilungen über dieselben geben können. Großmann sucht die subjektive Einteilung mathematisch zu verfolgen, muß aber nach damaligem Stand der Wissenschaft willkürliche Annahmen machen. Es zeigt sich aber aus den hier gewonnenen Resultaten, daß die von Großmann aufgestellten Annahmen wirklich berechtigt waren. Trotzdem wurde die erste derselben von ihm selbst als unglaublich verworfen.

Auch die Untersuchungen Volkmanns sind geeignet, Licht auf die subjektive Einteilung zu werfen. Aus dem Ziffernmaterial in seiner Abhandlung „Über das Vermögen Größenverhältnisse zu schätzen" ist somit sichtbar, daß die Fehler nahe an der Intervallmitte relativ unbedeutend sind und außerdem, daß die komplementären Dezimalen etwa gleich große variable Fehler zeigen. Diese Verhältnisse deuten also auf symmetrische Einteilung des Intervalles in der Nähe der Intervallmitte hin.

Von Walter wird bei der Besprechung von Thermometerskalen bemerkt, daß „*it should be remarked that 0,5 is a point almost as well defined on the stem as if it were actually ruled, and, moreover, the fact, that it is not ruled gives this division the characteristic of a mathematical point*". Er macht aber keine Versuche, diese Auffassung experimentell zu begründen.

Aus der Tabelle Kirkpatricks kann leicht abgelesen werden, daß die Verschiebung der 0,5-Lage sehr gering ist und daß die Verschiebungen komplementärer Dezimalen einander gleich sind. Wie schon früher gesagt, ist auch in der geodätischen Literatur eine klare Auffassung der symmetrischen Verhältnisse bei der Dezimalschätzung mehrmals zum Ausdruck gekommen. Diese älteren Erfahrungen stimmen also mit den hier gewonnenen Ergebnissen gut überein.

[1] Dissertation, Kap. XV—XVII.

Bezüglich des Verlegens des geschätzten Mittelpunktes im Skalenintervall sind eine große Anzahl Untersuchungen, ganz besonders auch von den Physiologen, ausgeführt worden. Was die horizontalen Skalen betrifft, so haben diese Untersuchungen gezeigt, daß nur sehr kleine Verschiebungen der Mittelpunkte vorkommen, wenn die Ablesung der Skala zweiäugig geschieht. Dies wird u. a. von Kundt, Wundt und Fischer hervorgehoben. Dagegen sind die Verhältnisse bei vertikaler Skala und bei einäugiger Betrachtung der Skala verwickelter und nicht vollkommen eindeutig.

### § 6. Berechnungen von Korrektionstermen der Schätzungen verschiedener Dezimalen.

Den bisher gewonnenen Resultaten zufolge, können wir jetzt aus den Dezimalfrequenzen einer Reihe u. a. die wirklichen Mittellagen derjenigen Skaleneinstellungen mathematisch bestimmen, die beim Schätzen den verschiedenen Dezimalen zugeführt worden sind. Die Differenz zwischen dem Wert dieser Mittellage und der geschätzten Dezimale selbst gibt die Größe eines Korrektionsausdruckes, der geeignet zu sein scheint, denjenigen Schätzungswerten zugelegt zu werden, die bei der Schätzung der betreffenden Dezimale zugeordnet worden waren. Außerdem kann der durchschnittliche Fehler einer Beobachtungsreihe und der durchschnittliche Fehler sämtlicher Beobachtungen, die einer gewissen Dezimale zugeführt sind, leicht berechnet werden.

Die folgenden Erfahrungen finden hierbei Anwendung:

1. Bei der Dezimalschätzung wird die gedachte Einteilung des Skalenintervalles vom Beobachter persönlich beeinflußt.

2. Die subjektive Einteilung ist symmetrisch im Verhältnis zu dem Teilstriche.

3. Zufällige Fehler haben sehr geringe Einwirkung; sie können ohne weiteres vernachlässigt werden.

Außerdem wird angenommen, daß die wirklichen Einstellungen des Indexes bei den Beobachtungen, wo geschätzt wird, über das ganze Intervall gleichmäßig verteilt sind. Sämtliche Dezimalen sind also in der Wirklichkeit gleich oft vorkommend, wenn auch die Schätzungsfrequenzen anderes zu zeigen scheinen.

Wir nehmen an, daß bei 100 Beobachtungen $n_d$ Fälle der Dezimale $d$ zugeordnet sind. Diese Annahme kann in folgender Weise formuliert werden:

$$\sum_{d=0}^{d=9} n_d = 100 . \tag{6}$$

Die $n_d$ Beobachtungen entsprechen sämtlich Einstellungen, die in einem besonderen Gebiet des Skalenintervalles belegen sind. Angenommen wird, daß der Mittelpunkt dieses Gebietes $l_d \cdot 10^{-2}$ Skalenteile vom Mittelpunkt des Teilstriches liegt. Zwischen zwei aufeinander folgende $l$-Werte bekommen wir unter solchen Umständen den durch folgende Gleichung ausgesprochenen Zusammenhang:

$$l_{d+1} = l_d + \frac{n_d + n_{d+1}}{2} . \tag{7}$$

Mit Hilfe der 10 Größen $l$ können wir jetzt neun voneinander unabhängige Gleichungen aufstellen. Außerdem wissen wir nach dem Erfahrungssatz 2, daß

$$l_0 = 0 . \tag{8}$$

Wir haben also die Möglichkeit, die verschiedenen $l$-Werte der Reihe zu berechnen. Die subjektive Einteilung des Skalenintervalles kann also ebenfalls zahlenmäßig festgestellt werden.

Wird die Verschiebung vom Mittelpunkt des geschätzten Gebietes der Dezimalstelle $d$ aus seiner richtigen Lage als $S_d \cdot 10^{-2}$ Skalenteile angenommen, so bekommen wir unmittelbar folgende Gleichung:

$$S_d = l_d - 10\,d\,. \qquad 9)$$

Der Ausdruck $S_d$ gibt offenbar die Korrektionsbeträge an, die zu den verschiedenen der Dezimale $d$ zugeordneten Beobachtungen addiert werden müssen, damit diese im Durchschnitt so wenig als nur möglich fehlerhaft werden. Da die $l$-Werte aus dem soeben genannten System von Gleichungen bestimmt werden können, so gilt dies auch von den $S_d$-Werten.

Diese Auseinandersetzung folgt, wie unmittelbar daraus hervorgeht, den Hauptlinien der Großmannschen Darstellung. Seine Gleichungen führten ihn aber zu Ergebnissen, die er als unwahrscheinlich verwarf, weshalb er auch die Richtigkeit der Grundgleichung 8) bezweifelte und zu einer anderen Annahme überging.

Ehe wir weitergehen, dürfte es zweckmäßig sein, mit Hilfe der abgeleiteten Gleichungen die $S_d$-Werte einiger Beobachtungsreihen zu berechnen, um ihre Bedeutung zu erkennen. Hierbei wurden zuerst die Reihen 1—10 bearbeitet. Die Korrektionswerte der verschiedenen Dezimalen bei derselben sind in der Tabelle 9 angegeben, wobei als Einheit ein Hundertstel des Intervalls gewählt wurde.

Tabelle 9. Berechnete Dezimalkorrektionen $S_d$ der Versuchsreihen 1 bis 10, in Hundertsteln des Intervalles ausgedrückt.
Kartenreihe: AB. Versuchsperson: Bm.

| Reihe | Berechnete Korrektionen der verschiedenen Dezimale | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | 0 | − 1,5 | + 2 | + 7,5 | + 3,5 | − 1,5 | − 5 | − 7 | − 2,5 | + 0,5 |
| 2 | 0 | − 1 | + 3,5 | + 8,5 | + 4,5 | − 1,0 | − 5,5 | − 8,5 | − 3,5 | + 1 |
| 3 | 0 | − 2 | + 2,5 | + 8,5 | + 6 | + 0,5 | − 5,5 | − 8 | − 3 | + 1 |
| 4 | 0 | − 1 | + 3 | + 8,5 | + 5 | − 1,5 | − 7 | − 8,5 | − 2,5 | + 1 |
| 5 | 0 | − 0,5 | + 4 | + 9,5 | + 6 | + 1 | − 4 | − 7,5 | − 1,5 | + 2 |
| 6 | 0 | 0 | + 4 | + 8,5 | + 5,5 | 0 | − 6,5 | − 10,5 | − 4,5 | + 0,5 |
| 7 | 0 | 0 | + 4 | + 8,5 | + 5 | 0 | − 5,5 | − 9 | − 3 | + 1 |
| 8 | 0 | 0 | + 5 | + 10 | + 6 | + 0,5 | − 5,5 | − 9 | − 3,5 | + 0,5 |
| 9 | 0 | 0 | + 4,5 | + 9 | + 5,5 | + 0,5 | − 5 | − 7 | − 1 | + 1,5 |
| 10 | 0 | − 0,5 | + 4 | + 9 | + 5,5 | + 0,5 | − 4,5 | − 7 | − 2,5 | + 0,5 |
| Im Mittel: | 0 | − 0,7 | + 3,7 | + 8,7 | + 5,3 | − 0,1 | − 5,4 | − 8,2 | − 2,8 | + 0,9 |

Aus der Tabelle geht hervor, daß besonders den Dezimalen 0,3 und 0,7 große Korrektionen zugeordnet sind. Die bezüglichen Werte sind nämlich + 0,087 bzw. 0,082 Skalenteile. In der Tat würden somit die als 0,3 geschätzten Einstellungen eigentlich als 0,4 geschätzt worden sein. In derselben Weise würden die als 0,7 geschätzten Einstellungen eigentlich als 0,6 bezeichnet worden sein. Dies wurde übrigens schon bei der Besprechung der subjektiven Einteilung erwähnt. Auch die Dezimalen 0,4 und 0,6 brauchen ziemlich große Verbesserungen. Es mag weiter darauf hingewiesen werden, daß die in der Tabelle 9 aufgeführten Werte ziemlich gut mit den wirklich begangenen Fehlern übereinstimmen. Hiervon kann man sich bei Durchsicht der Tabelle 6 leicht überzeugen.

Da die Reihen 1—10 der Tabelle 9 sämtlich von einer Person ausgeführt worden waren, wurden die besprochenen Verhältnisse auch bei einigen anderen Versuchspersonen geprüft. Dabei wurden vollkommen gleichartige Resultate erhalten. In der Tabelle 10 sind einige dieser Reihen aufs Geratewohl ausgewählt. Es wurden dabei neben den

berechneten Werten auch die bei der Reihe wirklich beobachteten in der Tabelle aufgeführt.

Tabelle 10. Beobachtete und berechnete Dezimalverschiebungen verschiedener Personen. Die Werte sind in Hundertsteln des Skalenintervalles ausgedrückt. Kartenreihe: AB.

| Reihe | | Die Verschiebungen der verschiedenen Dezimale | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 19 | Ber. | 0 | + 2,5 | + 5 | + 7,5 | + 5 | + 1 | − 2,5 | − 4 | − 2 | − 1,5 |
| | Beob. | 0 | + 2,5 | + 5,5 | + 7,5 | + 5 | + 1 | − 2,5 | − 4 | − 2 | − 1,5 |
| 20 | Ber. | 0 | − 3 | − 2 | + 1,5 | + 2 | − 0,5 | − 1 | + 1,5 | + 2,5 | + 2 |
| | Beob. | − 0,5 | − 3,5 | − 2,5 | + 1 | + 1,5 | − 1 | − 1,5 | + 1 | + 2 | + 1,5 |
| 302 | Ber. | 0 | + 1,5 | + 2 | + 3,5 | + 4 | + 3 | + 0,5 | − 1,5 | − 1 | − 1 |
| | Beob. | 0 | + 1,5 | + 2 | + 3,5 | + 4 | + 3 | + 0,5 | − 1,5 | − 1 | − 1 |
| 304 | Ber. | 0 | + 1,5 | − 2 | − 2 | − 1 | − 3 | − 2,5 | 0 | + 0,5 | − 1,5 |
| | Beob. | + 0,5 | + 2 | − 2,5 | − 2 | − 0,5 | − 2,5 | − 2 | + 0,5 | + 1 | − 1 |

Aus der Tabelle geht u. a. hervor, daß die berechneten und die beobachteten Werte sehr nahe miteinander übereinstimmen. Die Differenzen sind durchgehend klein und durch geringe Fehler zufälliger Art in der geschätzten Null-Lage bedingt.

Die hier erwähnten Berechnungen sind aus den Gleichungen 9), 7) und 8) gewonnen. Die letzte derselben kann auch in folgender Weise geschrieben werden:

$$S_0 = 0. \qquad 10)$$

Aus den früheren Auseinandersetzungen geht ohne weiteres hervor, daß man anstatt der Gl. 8) oder 10) die folgende Gl. 11) mit den Gl. 7) kombinieren kann. Die Gl. 11), die auch in den früher besprochenen Erfahrungen über die subjektive Einteilung des Skalenintervalles bei der Dezimalschätzung begründet ist, kann dabei folgendermaßen geschrieben werden:

$$S_5 = 0. \qquad 11)$$

Diese Gleichung gilt mit relativ guter Genauigkeit. Es wurde aber im vorigen Abschnitt gezeigt, daß sie in dieser Hinsicht hinter der Gl. 10) zurücksteht.

Im vorigen Abschnitt wurde auch gezeigt, daß die subjektive Einteilung durchaus symmetrisch im Verhältnis zu dem Teilstriche und der Intervallmitte ist, was z. B. in den gleichen Schätzungsfrequenzen komplementärer Dezimalen zum Ausdruck kommt. Da hierdurch die Dezimalverschiebungen $S_d$ und $S_{10-d}$ einander gleich, aber von entgegengesetztem Zeichen sind, so muß ihre Summe Null sein. Da weiter sowohl $S_0$ als $S_5$ vom Werte Null sind, so muß die Summe sämtlicher Dezimalkorrektionen den Wert Null bekommen. Wir können also schreiben:

$$\sum_{d=0}^{d=9} S_d = 0. \qquad 12)$$

Natürlich kann auch diese Gleichung mit der Gl. 7) kombiniert werden und zur Berechnung der $S_d$-Werte dienen. Sie wurde von Großmann bei der mathematischen Behandlung seines Versuchsmateriales benutzt. Dagegen wurde ihre Gültigkeit von Schmidt bezweifelt.

Aus den soeben gegebenen Auseinandersetzungen über die Symmetrie der subjektiven Skala geht auch die Richtigkeit der folgenden Gl. 13) hervor:

$$\sum_{d=0}^{d=9} n_d \cdot S_d = 0. \qquad 13)$$

Sie wurde von Gonessiat (3) in seiner umfassenden Abhandlung gebraucht.

Bei vollkommen symmetrischer subjektiver Einteilung des Skalenintervalles müssen die Gl. 10), 11), 12) und 13) von gleichem Wert sein und es würde lediglich eine Geschmacksache sein, zwischen ihnen zu wählen.

Der Verfasser hat aber an anderer Stelle gezeigt, daß die subjektive Einteilung des Skalenintervalles unter gewissen Umständen ein wenig unsymmetrisch werden kann. Bei sogenannten symmetrischen Skalen werden diese Unsymmetrien freilich sehr gering, werden aber bei unsymmetrischen Skalen häufiger. Diese Unsymmetrien treten besonders bei der Intervallmitte hervor, wodurch natürlich die Gültigkeit der Gl. 11) beeinträchtigt wird. Dagegen wird die Symmetrie beim Teilstriche noch ziemlich gut beibehalten. Gl. 10) ist deshalb noch gültig. Es scheint aber klar zu sein, daß, wenn die Nullschätzungen ihre Lagen beibehalten, die 0,5-Schätzungen aber zu der einen Seite des Intervalles verschoben werden, auch die zwischenliegenden Dezimalen verschoben werden müssen und dies in verschiedenen Graden an den beiden Hälften des Intervalles.

Die Werte $S_d$ und $S_{10-d}$ werden also einander nicht mehr zahlenmäßig gleich, weshalb auch die Gültigkeit der Gl. 12) und 13) beeinträchtigt wird.

Hieraus geht also hervor, daß die Gl. 11), 12) und 13) nur bei vollkommen symmetrischen Schätzungen gelten, sonst aber versagen. Es scheint deshalb angemessen zu sein, die unter verschiedenen Umständen am besten bewährte Gl. 10) durchgehend zu benutzen.

Der Zusammenhang zwischen den verschiedenen $S_d$-Werten wurde durch die Gl. 7) und 9) ausgedrückt. Herr Dr. phil. J. Jung hat mich darauf aufmerksam gemacht, daß dieser Zusammenhang in sehr interessanter Weise geschrieben werden kann[1], wobei die Gl. 12) als grundlegend angenommen wird. Durch Kombinieren der Gl. 7) und 9) bekommen wir hierbei zuerst:

$$S_{d+1} = S_d + \frac{n_d + n_{d+1}}{2} - 10, \tag{14a}$$

weiter durch Einsetzung von $\delta_d = n_d - 10$ die noch einfachere Form

$$S_{d+1} = S_d + \frac{\delta_d + \delta_{d+1}}{2}. \tag{14b}$$

Wir haben somit folgendes System von Gleichungen:

$$\left.\begin{aligned}
S_0 &= S_0, \\
S_1 &= S_0 + \frac{\delta_0 + \delta_1}{2}, \\
S_2 &= S_0 + \frac{\delta_0 + 2\,\delta_1 + \delta_2}{2}, \\
S_3 &= S_0 + \frac{\delta_0 + 2\,\delta_1 + 2\,\delta_2 + \delta_3}{2}, \\
S_4 &= S_0 + \frac{\delta_0 + 2\,\delta_1 + 2\,\delta_2 + 2\,\delta_3 + \delta_4}{2}, \\
S_5 &= S_0 + \frac{\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4}{2} - \frac{\delta_9 + \delta_8 + \delta_7 + \delta_6}{2}, \\
S_6 &= S_0 - \frac{\delta_0 + 2\,\delta_9 + 2\,\delta_8 + 2\,\delta_7 + \delta_6}{2}, \\
S_7 &= S_0 - \frac{\delta_0 + 2\,\delta_9 + 2\,\delta_8 + \delta_7}{2}, \\
S_8 &= S_0 - \frac{\delta_0 + 2\,\delta_9 + \delta_8}{2}, \\
S_9 &= S_0 - \frac{\delta_0 + \delta_9}{2}.
\end{aligned}\right\} \tag{15}$$

[1] Ich wünsche hier Herrn Dr. Jung für seine freundlichen Bemerkungen meinen herzlichsten Dank auszusprechen.

Nach Gl. 12) wird die Summe sämtlicher $S_d$-Werte Null sein. Durch Addieren der Gleichungen bekommen wir also:

$$0 = 10\,S_0 + 4\,\delta_1 + 3\,\delta_2 + 2\,\delta_3 + \delta_4 - \delta_6 - 2\,\delta_7 - 3\,\delta_8 - 4\,\delta_9$$

oder:

$$S_0 = \frac{4\,(\delta_9 - \delta_1) + 3\,(\delta_8 - \delta_2) + 2\,(\delta_7 - \delta_3) + (\delta_6 - \delta_4)}{10},$$

welche Gleichung durch Ersetzen der $\delta_d$-Werte durch $n_d$-Werte folgende Form erhalten kann:

$$S_0 = \frac{4\,(n_9 - n_1) + 3\,(n_8 - n_2) + 2\,(n_7 - n_3) + (n_6 - n_4)}{10}. \qquad 16)$$

Diese Schreibweise scheint sehr interessant zu sein. In gleicher Weise können wir natürlich auch im allgemeinen den Wert $S_d$ aus den Frequenzwerten $n_d$ berechnen, wobei wir die folgende Gleichung bekommen:

$$S_d = \frac{4\,(n_{d-1} - n_{d+1}) + 3\,(n_{d-2} - n_{d+2}) + 2\,(n_{d-3} - n_{d+3}) + (n_{d-4} - n_{d+4})}{10}. \qquad 17)$$

Der Verfasser hat aber diese Gleichungen nicht weiter benutzt.

## § 7. Einige Bemerkungen über die Versuchsreihen Großmanns.

Es wurde oben gezeigt, daß die von Großmann zuerst aufgestellte, aber später bezweifelte Annahme der symmetrischen Verteilung der Nullschätzungen unzweifelhaft richtig war. Diese Annahme gab aber bei der mathematischen Bearbeitung die folgenden berechneten Dezimalverschiebungen (Tab. 11).

Tabelle 11. Die Dezimalverschiebungen, in Hundertsteln des Skalenintervalles ausgedrückt, bei der Reihe $A_2$ (nach Großmann).

| $d$ | $S_d$ | $d$ | $S_d$ |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 5 | + 8,1 |
| 1 | + 7,7 | 6 | + 7,4[1] |
| 2 | + 17,0 | 7 | + 3,3[1] |
| 3 | + 17,2 | 8 | − 2,9[1] |
| 4 | + 11,8 | 9 | − 2,9[1] |

Die in dieser Weise berechneten Verschiebungen sind wirklich außerordentlich groß, wie auch aus der Tabelle hervorgeht. Sie wirken deshalb ein wenig unwahrscheinlich. So würden ja die Dezimalen 0,2 und 0,3 fast um 0,2 Skalenteile verschoben sein, was ganz erstaunlich scheint. Man bemerkt auch den großen Wert $S_5 = +\,8{,}1 \cdot 10^{-2}$ Skalenteile. Die Verschiebung $S_5$ würde ja eigentlich Null sein. Dazu kommt, daß die $S$-Werte komplementärer Dezimalen, die einander gleich sein sollten, bedeutende Unterschiede zeigen. Die ganze Verteilung scheint unsymmetrisch zu sein.

Wir könnten die zuletzt besprochene Tatsache, daß komplementäre Dezimalen eigentlich gleichgroße $S_d$-Werte haben sollen, dazu benutzen, einen Versuch zur Ausgleichung der Reihe $A_2$ zu machen. Um je zwei komplementäre Dezimalen einander gleich zu machen, müßten wir die ganze Reihe von $S_d$-Werten mit einem gewissen Betrage vermindern. Dieser Betrag würde für die verschiedenen Dezimalpaare folgende Werte annehmen:

für 1 und 9: 2,4 · $10^{-2}$ Skalenteile
„ 2 „ 8: 7,0 „
„ 3 „ 7: 10,2 „
„ 4 „ 6: 9,6 „
„ 5 „ 0: 4,1 „

[1] Die hier angegebenen $S_d$-Werte der Dezimale 6—9 sind um $0{,}1 \cdot 10^{-2}$ Skalenteile von den Werten, die aus der Tabelle 3 zu bekommen sind, verschieden. Siehe auch die Anmerkungen zu letzterer Tabelle.

oder im Mittel $6{,}7 \cdot 10^{-2}$ Skalenteile. Hierdurch bekommen wir die neuen ausgeglichenen $S_d$-Werte der Tab. 12.

Tabelle 12. Ausgeglichene Werte der Dezimalverschiebungen bei der Reihe $A_2$ nach Großmann. Die Werte sind in Hundertsteln eines Skalenintervalles angegeben.

| $d$ | $S_d$ | $d$ | $S_d$ |
|---|---|---|---|
| 0 | − 6,7 | 5 | + 1,4 |
| 1 | + 1,0 | 6 | + 0,7 |
| 2 | + 10,3 | 7 | − 3,4 |
| 3 | + 10,5 | 8 | − 9,6 |
| 4 | + 5,1 | 9 | − 9,6 |

Das hier benutzte Ausgleichungsverfahren stimmt mit der zweiten Methode Großmanns überein und ist in der Gl. 12) begründet. Da diese zu niedrigeren $S_d$-Werten als Gl. 10) führte, verwarf Großmann diese letzte und nahm statt dessen die Gültigkeit der Annahme von Gl. 12) an. Bei symmetrischer Verteilung der Dezimalen würden ja doch — wie oben gesagt — beide Gleichungen identische Resultate geben.

Aus den vorliegenden Auseinandersetzungen ebenso wie aus der Tab. 2 ist ersichtlich, daß die Reihe $A_2$ bei Großmann sehr unsymmetrische Verteilung der geschätzten Dezimale zeigt. Es wird jetzt von Interesse sein, die wahrscheinliche Ursache hierzu zu erforschen. Zwei Möglichkeiten liegen dabei sehr nahe. Entweder kann die Ursache in einer zufälligen sehr ungleichmäßigen Verteilung der wirklichen Instrumenteinstellungen bei dieser Reihe oder sonst in einer Tendenz (z. B. persönlicher Art) zu unsymmetrischen Schätzungen liegen. Um diese Möglichkeiten zu prüfen wurden die subjektiven Skaleneinteilungen bei den drei Reihen $A_1$—$A_3$ unter Annahme von Gl. 10) berechnet und in der Abb. 14 graphisch dargestellt.

Beim Beobachten der Abb. 14 bemerkt man unmittelbar, daß die drei Reihen $A_1$—$A_3$ einander sehr gleich sind. Bei sämtlichen Reihen sind die Dezimalen an der linken Seite öfter als die entsprechenden Dezimalen der rechten Seite geschätzt. Die Dezimalgrenzen scheinen also gegen die rechte Seite verschoben und sind deshalb in der rechten Hälfte des Intervalles gehäuft zu finden. Es scheint deshalb ausgeschlossen, die Ursache der unsymmetrischen Verhältnisse in einer ungleichmäßigen Verteilung der Einstellungen bei den Reihen A zu suchen. Wir müssen im Gegenteil die subjektive Einteilung selbst als unsymmetrisch ansehen.

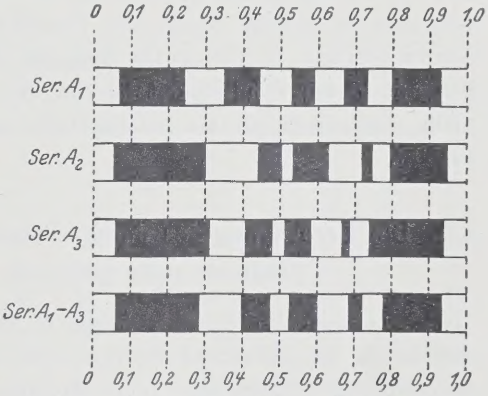


Abb. 14. Die berechnete subjektive Einteilung des Intervalles bei den Reihen $A_1$ bis $A_3$.

Der Schluß, daß der Beobachter A die subjektive Einteilung unsymmetrisch ausgeführt habe, scheint im schroffen Gegensatz zu den früheren Angaben dieser Abhandlung zu stehen. Dabei wird natürlich vorausgesetzt, daß die Ablesungsskala des von der Versuchsperson A gebrauchten Instrumentes wirklich vollkommen symmetrisch ist. Dagegen sind die Verhältnisse bei Schätzungen an unsymmetrischen Skalen oft sehr unsymmetrisch, was in ausgeprägtem Grade bei Thermometern beobachtet werden kann. Der Verfasser hat aber an anderer Stelle gezeigt, daß auch bei vollkommen symmetrischen Skalen die subjektive Einteilung unter gewissen Umständen unsymmetrisch werden kann. Dies wird z. B. der Fall bei häufigem Wechseln der Ablesungsrichtung oder bei alternierenden Ablesungen an horizontalen und vertikalen Skalen.

Da Großmann sehr wenig über die Skalen seines Instrumentes und die Beobachtungsmethoden bei demselben erzählt, hat der Verfasser untersucht, ob auch die

übrigen Beobachter Großmanns gleichartige unsymmetrische Schätzungsverhältnisse zeigen. Deswegen sind in der Tabelle 13 die gesamten Schätzungsfrequenzen der Dezimalgruppen 0,1—0,4 bzw. 0,6—0,9 aufgeführt. Bei vollkommener Symmetrie würden natürlich diese Frequenzen einander gleich sein.

Tabelle 13. Die gesamte Schätzungszahl der Dezimalgruppe 0,1—0,4 bzw. 0,6—0,9 bei den Reihen A—E Großmanns.

| Reihe | Die Schätzungszahlen der Dezimalgruppen | |
|---|---|---|
| | 0,1—0,4 | 0,6—0,9 |
| $A_1$ | 459 | 339 |
| $A_2$ | 479 | 318 |
| $A_3$ | 453 | 359 |
| $B_1$ | 434 | 355 |
| $B_2$ | 390 | 325 |
| C | 398 | 384 |
| $D_1$ | 411 | 374 |
| $D_2$ | 443 | 386 |
| [$D_3$] | [386] | [385] |
| E | 378 | 370 |

Aus der Tabelle 13 ergibt sich, daß sämtliche fünf Beobachter die Dezimalen 0,1—0,4 öfter als die Dezimalen 0,6—0,9 geschätzt haben. Bei sämtlichen war also die subjektive Tendenz zu unsymmetrischer Einteilung des Intervalles vorhanden. Die Richtung dieser Tendenzen war auch in sämtlichen Fällen dieselbe. Hieraus scheint mit großer Wahrscheinlichkeit hervorzugehen, daß das betreffende Instrument mit einer Skala unsymmetrischer Art ausgestattet sein muß, oder wenigstens daß die Ablesungsmethode das Hervorheben unsymmetrischer Tendenzen befördert hat.

Schon die besprochenen Eigentümlichkeiten der Ablesungsmethode würden also genügend sein, die Unsymmetrien der subjektiven Skaleneinteilung zu erklären. Hierzu kommt aber, daß die Mikrometerskalen nicht vertikal oder horizontal gerichtet, sondern in schiefer Richtung belegen sind. Diese Tatsache vermehrt in hohem Grade die Tendenz zur Unsymmetrie. Aus einer Untersuchung des Physiologen Y. Renquist über die Halbierung verschiedener Intervalle geht nämlich mit großer Deutlichkeit hervor, daß diese Teilung bei schiefen Intervallrichtungen mehr unsymmetrisch als bei liegenden oder stehenden Plazierungen des Intervalles ausfällt.

## § 8. Die Berechnung des durchschnittlichen Fehlers der Beobachtungen, die beim Schätzen einer gewissen Dezimale zugeordnet werden.

Nachdem die Verschiebungen $S_d$ einer gewissen Dezimalstelle $d$ gemäß der Darstellung in § 6 berechnet worden sind, ist die Fehlersumme der $n_d$ dieser Dezimale zugeordneten Schätzungen ohne weiteres zu bestimmen, ebenso der durchschnittliche Fehler $m_d$ der Schätzungen an der Dezimale $d$. Er wird durch Gleichung 18) berechnet, welche in folgender Weise geschrieben werden kann:

$$m_d = \frac{\Sigma \Delta_d}{n_d}. \tag{18}$$

Zur Berechnung der Fehlersumme $\Sigma \Delta_d$ indessen wird folgender Vorgang benutzt:

Wir nehmen zuerst den Wert $n_d = 1$ an, d. h. nur $1^0/_0$ sämtlicher Beobachtungen sind der Dezimale $d$ zugeordnet. Wird hierzu noch angenommen, daß $S_d = 0$, so muß die Summe $\Sigma \Delta_d$ Null sein; die einzige $d$-Schätzung ist ja richtig plaziert und also fehlerfrei. Nehmen wir dagegen den Wert $S_d = 1 \cdot 10^{-2}$ Skalenteile an, so wird natürlicherweise die einzige $d$-Schätzung $1 \cdot 10^{-2}$ Skalenteile zur Seite verschoben sein, d. h. $\Sigma \Delta_d = 1 \cdot 10^{-2}$ Skalenteile. Bei $S_d = 2 \cdot 10^{-2}$ Skalenteile bekommt man in der gleichen Weise $\Sigma \Delta_d = 2 \cdot 10^{-2}$ Skalenteile usw. Jede Zunahme des Wertes $S_d$ mit $1 \cdot 10^{-2}$ Skalenteile vergrößert auch die $\Sigma \Delta_d$ mit demselben Betrag.

Bei $n_d = 2$ wird der einfachste Fall sein, daß $S_d = 0{,}5 \cdot 10^{-2}$ Skalenteile ist, d. h. die eine der beiden $d$-Schätzungen ist fehlerfrei, die andere $1 \cdot 10^{-2}$ Skalenteile zur Seite belegen. Die Summe $\Sigma \Delta_d$ wird also $1 \cdot 10^{-2}$ Skalenteile betragen. Bei $n_d = 2$ und $S_d = 1{,}5$ bekommen wir in der gleichen Weise die Fehler $1 \cdot 10^{-2}$ und $2 \cdot 10^{-2}$ Skalenteile, weshalb die $\Sigma \Delta_d = 3 \cdot 10^{-2}$ Skalenteile.

In ähnlicher Weise werden die Berechnungen beim Wert $n_d = 3$ ausgeführt. $S_d = 0$ gibt $\Sigma \Delta_d = 2 \cdot 10^{-2}$ Skalenteile, weil die drei einzelnen Fehler 1, 0 und $1 \cdot 10^{-2}$ Skalenteile betragen. $S_d = 1$ gibt $\Sigma \Delta_d = 3 \cdot 10^{-2}$ Skalenteile und $S_d = 2$ in derselben Weise $6 \cdot 10^{-2}$ Skalenteile. Jede Zunahme des Wertes $S_d$ mit $1 \cdot 10^{-2}$ Skalenteile vergrößert dann die $\Sigma \Delta_d$ mit $3 \cdot 10^{-2}$ Skalenteile.

Ein fortgesetztes Vorgehen nach diesen Linien gibt uns die verschiedenen Werte der $\Sigma \Delta_d$, die verschiedenen Kombinationen $n_d$ und $S_d$ zugehören. Es geht daraus hervor, daß hierbei die ungeraden $n_d$-Werte mit den $S$-Werten 0, 1, 2, $3 \cdot 10^{-2}$ Skalenteile kombiniert werden sollen, während die geraden $n_d$-Werte mit den $S_d$-Werten 0,5, 1,5, 2,5 . . . $\cdot 10^{-2}$ Skalenteile zusammengestellt werden müssen. In der Tabelle 14 sind die verschiedenen berechneten $\Sigma \Delta_d$-Werte unter Annahme verschiedener Kombinationen von $n_d$ und $S_d$ aufgenommen. Um die Tabelle ein wenig bequemer zu machen, sind sowohl bei geraden als ungeraden $n_d$-Werten die $S_d$-Werte 0, 1, 2, 3 . . . $\cdot 10^{-2}$ Skalenteile benutzt worden, wodurch die Tabelle auf die Hälfte reduziert

Tabelle 14. Die $\Sigma \Delta_d$ bei verschiedenen Werten $S_d$ und $n_d$; $\Sigma \Delta_d$ und $S_d$ sind in Hundertsteln eines Skalenteiles und $n_d$ in Prozent sämtlicher Schätzungen angegeben.

| $n_d$ | $\Sigma \Delta_d$ bei folgenden $S_d$-Werten | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 2 | 1 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 |
| 3 | 2 | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 | 21 | 24 | 27 | 30 | 33 | 36 | 39 |
| 4 | 4 | 5 | 8 | 12 | 16 | 20 | 24 | 28 | 32 | 36 | 40 | 44 | 48 | 52 |
| 5 | 6 | 7 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 |
| 6 | 9 | 10 | 13 | 18 | 24 | 30 | 36 | 42 | 48 | 54 | 60 | 66 | 72 | 78 |
| 7 | 12 | 13 | 16 | 21 | 28 | 35 | 42 | 49 | 56 | 63 | 70 | 77 | 84 | 91 |
| 8 | 16 | 17 | 20 | 25 | 32 | 40 | 48 | 56 | 64 | 72 | 80 | 88 | 96 | 104 |
| 9 | 20 | 21 | 24 | 29 | 36 | 45 | 54 | 63 | 72 | 81 | 90 | 99 | 108 | 117 |
| 10 | 25 | 26 | 29 | 34 | 41 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 |
| 11 | 30 | 31 | 34 | 39 | 46 | 55 | 66 | 77 | 88 | 99 | 110 | 121 | 132 | 143 |
| 12 | 36 | 37 | 40 | 45 | 52 | 61 | 72 | 84 | 96 | 108 | 120 | 132 | 144 | 156 |
| 13 | 42 | 43 | 46 | 51 | 58 | 67 | 78 | 91 | 104 | 117 | 130 | 143 | 156 | 169 |
| 14 | 49 | 50 | 53 | 58 | 65 | 74 | 85 | 98 | 112 | 126 | 140 | 154 | 168 | 182 |
| 15 | 56 | 57 | 60 | 65 | 72 | 81 | 92 | 105 | 120 | 135 | 150 | 165 | 180 | 195 |
| 16 | 64 | 65 | 68 | 73 | 80 | 89 | 100 | 113 | 128 | 144 | 160 | 176 | 192 | 208 |
| 17 | 72 | 73 | 76 | 81 | 88 | 97 | 108 | 121 | 136 | 153 | 170 | 187 | 204 | 221 |
| 18 | 81 | 82 | 85 | 90 | 97 | 106 | 117 | 130 | 145 | 162 | 180 | 198 | 216 | 234 |
| 19 | 90 | 91 | 94 | 99 | 106 | 115 | 126 | 139 | 154 | 171 | 190 | 209 | 228 | 247 |
| 20 | 100 | 101 | 104 | 109 | 116 | 125 | 136 | 149 | 164 | 181 | 200 | 220 | 240 | 260 |
| 21 | 110 | 111 | 114 | 119 | 126 | 135 | 146 | 159 | 174 | 191 | 210 | 231 | 252 | 273 |
| 22 | 121 | 122 | 125 | 130 | 137 | 146 | 157 | 170 | 185 | 202 | 221 | 242 | 264 | 286 |
| 23 | 132 | 133 | 136 | 141 | 148 | 157 | 168 | 181 | 196 | 213 | 232 | 253 | 276 | 299 |
| 24 | 144 | 145 | 148 | 153 | 160 | 169 | 180 | 193 | 208 | 225 | 244 | 265 | 288 | 312 |
| 25 | 156 | 157 | 160 | 165 | 172 | 181 | 192 | 205 | 220 | 237 | 256 | 277 | 300 | 325 |
| 26 | 169 | 170 | 173 | 178 | 185 | 194 | 205 | 218 | 233 | 250 | 269 | 290 | 313 | 338 |

wurde. Beim Gebrauch kann in dieser Tabelle interpoliert werden, wobei nur kleine Abweichungen gegen die exakten Werte erhalten werden.

Um die Genauigkeit dieses Vorganges und die Anwendung der Tabelle 14 zu zeigen, sind die $m_d$-Werte der Reihen 1—10 berechnet und in der Tabelle 15 aufgenommen, wo sie unter der Bezeichnung „Ber.“ zu finden sind. Zur Vergleichung hiermit enthält diese Tabelle auch Angaben der bei den Schätzungen wirklich be-

Tabelle 15. Durchschnittliche Fehler $m_d$ der den verschiedenen Dezimalstellen $d$ zugeordneten Schätzungen bei den Versuchsreihen 1—10.
Versuchsperson: Bm. Sämtliche Fehler sind in Hundertsteln eines Intervalles angegeben.

| Versuchsreihe | | $m_d$-Werte bei den Dezimalen | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1. | Ber. | 3,2 | 1,6 | 5,9 | 7,5 | 3,5 | 1,9 | 5,0 | 7,0 | 5,3 | 1,6 |
| | Beob. | 3,3 | 1,7 | 6,5 | 7,7 | 4,5 | 1,7 | 4,1 | 5,9 | 5,2 | 1,8 |
| 2. | Ber. | 3,0 | 1,7 | 6,3 | 8,5 | 4,5 | 1,2 | 5,5 | 8,5 | 6,3 | 1,7 |
| | Beob. | 3,0 | 2,0 | 6,9 | 8,0 | 5,0 | 1,0 | 5,0 | 8,0 | 6,1 | 1,8 |
| 3. | Ber. | 2,5 | 2,2 | 6,0 | 8,5 | 6,0 | 0,8 | 5,5 | 8,0 | 5,5 | 2,1 |
| | Beob. | 2,5 | 2,2 | 6,3 | 8,9 | 6,5 | 1,0 | 5,0 | 7,4 | 5,5 | 2,5 |
| 4. | Ber. | 3,0 | 1,7 | 5,9 | 8,5 | 5,0 | 1,5 | 7,0 | 8,5 | 5,5 | 1,7 |
| | Beob. | 3,0 | 1,8 | 6,2 | 8,9 | 5,5 | 1,3 | 6,3 | 8,2 | 5,5 | 2,0 |
| 5. | Ber. | 3,2 | 1,6 | 6,4 | 9,5 | 6,0 | 1,4 | 4,0 | 7,5 | 6,1 | 2,0 |
| | Beob. | 3,3 | 1,8 | 6,2 | 8,4 | 5,0 | 1,2 | 5,0 | 8,1 | 6,4 | 1,0 |
| 6. | Ber. | 3,2 | 1,7 | 6,0 | 8,5 | 5,5 | 0,7 | 6,5 | 10,5 | 6,9 | 1,6 |
| | Beob. | 3,2 | 1,9 | 6,0 | 8,5 | 5,5 | 0,7 | 6,5 | 10,5 | 6,9 | 1,5 |
| 7. | Ber. | 3,2 | 1,7 | 6,0 | 8,5 | 5,0 | 1,2 | 5,5 | 9,0 | 6,1 | 1,4 |
| | Beob. | 3,2 | 1,7 | 6,2 | 8,0 | 5,0 | 1,2 | 5,5 | 9,0 | 6,1 | 1,4 |
| 8. | Ber. | 3,2 | 1,7 | 6,8 | 10,0 | 6,0 | 1,1 | 5,5 | 9,0 | 6,1 | 1,6 |
| | Beob. | 3,2 | 1,7 | 6,9 | 9,7 | 6,0 | 1,0 | 5,0 | 8,8 | 6,2 | 1,5 |
| 9. | Ber. | 3,2 | 1,7 | 6,4 | 9,0 | 5,5 | 1,1 | 5,0 | 7,0 | 5,3 | 1,6 |
| | Beob. | 3,3 | 2,1 | 6,5 | 9,0 | 5,7 | 1,2 | 4,6 | 7,2 | 5,3 | 1,5 |
| 10. | Ber. | 3,2 | 1,6 | 6,4 | 9,0 | 5,5 | 1,1 | 4,5 | 7,0 | 5,3 | 1,6 |
| | Beob. | 3,2 | 1,5 | 6,5 | 8,7 | 5,5 | 1,0 | 4,5 | 6,9 | 5,3 | 1,5 |

Tabelle 16. Durchschnittliche Fehler $m_d$ der den verschiedenen Dezimalstellen $d$ zugeordneten Schätzungen; die Fehler sind in Hundertsteln eines Skalenintervalles angegeben.
Sämtliche Reihen entsprechen verschiedenen Versuchspersonen.

| Versuchsreihe | | $m_d$-Werte bei den Dezimalen | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 19. | Ber. | 3,7 | 3,1 | 5,4 | 7,5 | 5,0 | 1,9 | 2,6 | 4,2 | 3,5 | 2,3 |
| | Beob. | 3,7 | 3,1 | 5,9 | 7,4 | 5,2 | 2,0 | 2,5 | 4,5 | 4,2 | 2,7 |
| 20. | Ber. | 2,0 | 3,0 | 4,3 | 3,0 | 2,9 | 1,3 | 3,6 | 3,0 | 3,3 | 2,5 |
| | Beob. | 2,0 | 3,5 | 4,5 | 3,5 | 3,4 | 1,6 | 3,6 | 3.5 | 3,9 | 2,4 |
| 71. | Ber. | 3,0 | 1,7 | 4,3 | 3,9 | 3,1 | 1,3 | 3,3 | 4,0 | 4,7 | 1,7 |
| | Beob. | 3,0 | 1,4 | 4,3 | 4,3 | 3,5 | 1,2 | 3,1 | 3,3 | 4,9 | 1,9 |
| 73. | Ber. | 2,2 | 2,6 | 3,7 | 3,7 | 3,2 | 2,7 | 2,8 | 2,1 | 3,7 | 2,3 |
| | Beob. | 2,9 | 3,5 | 3,7 | 3,2 | 2,9 | 2,7 | 2,8 | 2,2 | 3,5 | 1,7 |
| 75. | Ber. | 2,0 | 2,5 | 3,7 | 3,4 | 3,9 | 2,2 | 2,1 | 3,3 | 4,1 | 2,6 |
| | Beob. | 2,0 | 2,8 | 4,1 | 3,7 | 3,9 | 2,2 | 2,6 | 4,0 | 4,2 | 2,3 |
| 302. | Ber. | 3,2 | 2,7 | 3,1 | 4,0 | 4,0 | 3,2 | 1,6 | 2,8 | 2,8 | 2,3 |
| | Beob. | 3,2 | 2,7 | 3,3 | 4,3 | 4,0 | 3,2 | 1,8 | 2,9 | 2,8 | 2,3 |

gangenen durchschnittlichen Fehler, die unter der Bezeichnung „Beob." zu sehen sind. Einheit ist ein Hundertstel des Intervalles.

Wie aus der Tabelle 15 unmittelbar hervorgeht, stimmen die berechneten und die gefundenen Fehlerwerte sehr gut überein. Wenn man bedenkt, daß jeder Fehlerwert im Durchschnitt nur auf zehn Beobachtungen gegründet ist, so muß die Übereinstimmung sogar als unerwartet gut bezeichnet werden.

Da die Tabelle 15 nur eine Versuchsperson berücksichtigt, wurden auch gleichartige Berechnungen zu den Resultaten einiger anderer Beobachter ausgeführt und die $m_d$-Werte in der Tabelle 16 aufgenommen.

Auch bei diesen Reihen scheinen berechnete und gefundene Fehlerwerte gut übereinzustimmen.

Außer diesen Berechnungen von $m_d$-Werten, die sämtlich mit der Kartenreihe $AB$ ausgeführt waren, wurden gleichartige Untersuchungen auch bei mehreren anderen Kartenreihen mit gleichartigem Erfolge ausgeführt.

* * *

Bei der obigen Herleitung der Werte $\Sigma \Delta_d$ und der durchschnittlichen Fehler $m_d$ der verschiedenen Dezimalen haben wir uns dem vorliegenden Skalenmaterial angeschlossen. Bei demselben gilt, daß die verschiedenen „Einstellungen" sich voneinander durch eine Anzahl ganzer Hundertstel des Intervalles unterscheiden. Handelt es sich dagegen um Ablesungen an wirklichen Meßinstrumenten, so muß man annehmen, daß bei einer genügenden Anzahl von Einstellungen diese sich gleichmäßig über das ganze Intervall verteilen werden. Auch in diesem Falle kann die Fehlersumme auf folgende Weise leicht berechnet werden.

Wenn die Schätzung der Dezimale $d$ um $x$ Skalenteile von der richtigen Dezimallage verlegt wird, so muß auch der Fehler der Schätzung $x$ Skalenteile sein. Wir können also schreiben:

$$\frac{d\,\Sigma \Delta_d}{dx} = x. \tag{19}$$

Durch Integrieren dieser Gleichung über das ganze Schätzungsgebiet der Dezimale kann die Fehlersumme $\Sigma \Delta_d$ leicht berechnet werden. Dabei müssen wir zwei Fälle unterscheiden, nämlich:

$$\frac{n_d}{2} < S_d \quad \text{und} \quad \frac{n_d}{2} > S_d.$$

Im ersten Falle $\left(\frac{n_d}{2} < S_d\right)$ bekommen wir:

$$\Sigma \Delta_d = \int_{S_d - \frac{n_d}{2}}^{S_d + \frac{n_d}{2}} x \cdot dx = S_d \cdot \mathrm{n}_d. \tag{20}$$

Im zweiten Falle dagegen $\left(\frac{n_d}{2} > S_d\right)$ erhalten wir:

$$\Sigma \Delta_d = \int_{0}^{S_d + \frac{n_d}{2}} x \cdot dx - \int_{S_d - \frac{n_d}{2}}^{0} x \cdot dx = S_d^2 - \frac{n_d^2}{4}. \tag{21}$$

Wir finden also sehr einfache Gleichungen, durch welche wir die Fehlersummen und damit auch die $m_d$-Werte berechnen können, wenn $n_d$ und $S_d$ bekannt sind.

Vergleichen wir jetzt die aus diesen Gleichungen berechneten Werte der $\Sigma \Delta_d$ mit den in der Tabelle 14 aufgenommenen Zahlen, so finden wir gute Übereinstimmung. Im allgemeinen gibt es überhaupt keine Verschiedenheit zwischen den Werten, und wo eine solche vorhanden ist, wird diese Verschiedenheit nicht mehr als $\frac{1}{4} \cdot 10^{-2}$ Skalenteile betragen. Diese geringe Differenz ist ohne Bedeutung bei den folgenden Berechnungen. Bei Berechnungen des durchschnittlichen Fehlers, wie sie in dem folgenden Paragraphen ausgeführt werden, bedeuten diese kleinen Differenzen nur etwa 0,2—0,3% von dem Wert des durchschnittlichen Fehlers selbst. (Schluß folgt.)

---

# Die Bestimmung der elastischen Konstanten.

Von

**G. Berndt** in Dresden.

(Nach Beobachtungen von Dipl-Ing. Fr. Grumbach.)

## A. Die Hertzsche Abplattung.

Die Abplattung $M$, die von gekrümmten Flächen begrenzte Körper durch den Meßdruck erleiden, hängt nach H. Hertz von dem Werkstoff in der Weise ab, daß

$$M = C \cdot \vartheta^{\frac{2}{3}} \tag{1}$$

ist, wobei $C$ einen Proportionalitätsfaktor und $\vartheta$ den Elastizitätskoeffizienten bedeuten. Dieser setzt sich aus dem üblichen Elastizitätsmodul $E$ (in kg/cm²) und der Poissonschen Zahl $m$ (dem Verhältnis der Einschnürung $\varepsilon''$ zur Längsdehnung $\varepsilon'$) nach der Gleichung

$$\vartheta = \frac{4}{E} \cdot (1 - m^2) \tag{2}$$

zusammen.

Bei der Untersuchung von Bochmann (1)[1] über die Abplattung von Stahlkugeln hatte sich nun gezeigt, daß sie von den einzelnen Größen ($\vartheta$, Meßdruck, Krümmungshalbmesser) in der von der Hertzschen Theorie geforderten Weise abhing, daß aber der Proportionalitätsfaktor um 9,5% kleiner als der theoretische ausfiel (nach einer Mitteilung des *National Physical Laboratory* (2) beträgt die Abweichung sogar —16%). Dabei waren die elastischen Konstanten nicht bestimmt, sondern dafür die Werte angenommen:

$$E = 2 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2, \quad m = 0{,}29.$$

Es trat daher die Frage auf, ob jene Abweichung von —9,5% etwa durch die gemachte Annahme verursacht sein könnte. Zu diesem Zweck sollten die elastischen Konstanten des betreffenden gehärteten Kugellagerstahls bestimmt werden. Bevor darauf eingegangen wird, sei untersucht, welchen Einfluß die Werte von $E$ und $m$ auf $\vartheta$ und damit auf $M$ haben.

Nimmt man die vorher angegebenen Werte als Ausgangspunkt und bezeichnet die Abweichungen davon durch ein vorgesetztes $\delta$, so ändern sich $\vartheta$ und $M$ um die Beträge

$$\delta\vartheta = -\frac{4 \cdot (1 - m^2) \cdot \delta E}{E^2} - \frac{4 \cdot 2m \cdot \delta m}{E},$$

$$= -\vartheta \cdot \left(\frac{\delta E}{E} + \frac{2m \cdot \delta m}{1 - m^2}\right),$$

$$\delta M = \frac{2}{3} \cdot C \cdot \vartheta^{-\frac{1}{3}} \cdot \delta\vartheta = \frac{2}{3} \cdot \frac{M}{\vartheta} \cdot \delta\vartheta,$$

---

[1] S. das Schriftenverzeichnis am Schluß.

und somit

$$\frac{\delta M}{M}\cdot 100 = -\frac{2}{3}\cdot\left(\frac{\delta E}{E}\cdot 100 + \frac{2m^2}{1-m^2}\cdot\frac{\delta m}{m}\cdot 100\right). \qquad 3)$$

Durch größere Werte von $E$ und $m$ werden also $\vartheta$ und $M$ verkleinert.

Auf Grund der bisherigen Forschungsergebnisse kann man etwa ansetzen:

$$E = 2{,}0 \text{ bis } 2{,}2\cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2, \qquad \frac{\delta E}{E}\cdot 100 = 0 \text{ bis } +10,$$

$$m = 0{,}23 \text{ bis } 0{,}35, \qquad \frac{\delta m}{m}\cdot 100 = -21 \text{ bis } +21.$$

Damit ergeben sich folgende Grenzwerte für $\frac{\delta M}{M}\cdot 100$:

| | | | |
|---|---|---|---|
| $E$ | $2{,}0\cdot 10^6$ | $2{,}0\cdot 10^6$ | $2{,}2\cdot 10^6$ |
| $m$ | 0,23 | 0,29 | 0,35 |
| $\frac{\delta M}{M}\cdot 100$ | + 2,6 | 0 | − 9,2 |

Wenn auch diese Rechnung wegen der großen Werte von $\delta E$ und $\delta m$ nicht mehr streng zutrifft, so läßt sie doch erkennen, daß die Unterschiede zwischen den theoretischen und den experimentell gefundenen Werten von $M$ nur dann verschwinden werden, wenn $E$ und $m$ an den vorher angegebenen oberen Grenzen liegen, während eine Verkleinerung jenen Unterschied noch vergrößern würde.

## B. Untersuchung des Martenschen Spiegelapparates.

### a) Übersetzungsfehler.

Für die Bestimmung der Längsdehnung $\varepsilon'$ (und damit des Elastizitätsmoduls $E$) ist das gegebene Gerät der Martensche Spiegelapparat. Bezeichnet man (Abb. 1) die Verlängerung des durch die Meßfeder abgegriffenen Probestabteils mit $\lambda'$, die Schneidenbreite mit $s$, den Abstand der Skala $Sk$ vom Spiegel $Sp$ mit $A$, die abgelesenen Skalenteile mit $n$, so gilt

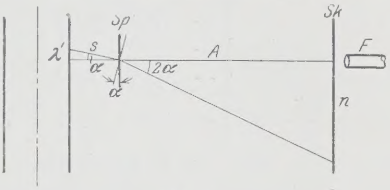



Abb. 1.

$$\lambda' = s\cdot\sin\alpha, \qquad 4\text{a})$$

$$n = A\cdot\operatorname{tg} 2\alpha. \qquad 4\text{b})$$

Somit wird die Übersetzung

$$U = \frac{\lambda'}{n} = \frac{s\cdot\sin\alpha}{A\cdot\operatorname{tg}2\alpha}, \qquad 5)$$

wofür man bei kleinen Winkeln $\alpha$ setzen darf:

$$U = \frac{s}{2A} \qquad 6)$$

oder

$$\lambda' = \frac{n\cdot s}{2A} = n\cdot U. \qquad 7)$$

Für größere Winkel $\alpha$ ist aber diese Vereinfachung bei Ansprüchen auf höhere Genauigkeit nicht mehr zulässig. Man kann indessen auch dann mit der bequemen Gleichung 7) rechnen, wenn man an $\lambda'$ und $n$ entsprechende Korrekturen $c'$ und $c''$ anbringt, also schreibt:

$$\lambda' + c' = (n + c'')\cdot\frac{s}{2A},$$

$$\lambda' = U\cdot(n + c'') - c', \qquad 8\text{a})$$

beziehungsweise

$$\delta\lambda' = U \cdot c'' - c'. \tag{8b}$$

Die Korrekturen $c'$ und $c''$ berechnen sich wie folgt. Nach Gl. 4a) ist

$$\begin{aligned}\alpha &= \arcsin\frac{\lambda'}{s}\\ &= \frac{\lambda'}{s} + \frac{1}{6}\cdot\left(\frac{\lambda'}{s}\right)^3 + \frac{3}{40}\cdot\left(\frac{\lambda'}{s}\right)^5 + \frac{15}{336}\cdot\left(\frac{\lambda'}{s}\right)^7 + \dots\\ &= \frac{\lambda' + \frac{1}{6}\cdot\frac{\lambda'^3}{s^2} + \frac{3}{40}\cdot\frac{\lambda'^5}{s^4} + \frac{15}{336}\cdot\frac{\lambda'^7}{s^6} + \dots}{s},\end{aligned}$$

somit

$$c' = \frac{1}{6}\cdot\frac{\lambda'^3}{s^2} + \frac{3}{40}\cdot\frac{\lambda'^5}{s^4} + \frac{15}{336}\cdot\frac{\lambda'^7}{s^6}. \tag{9}$$

Nach Gl. 4b) ist

$$\begin{aligned}2\alpha &= \operatorname{arctg}\frac{n}{A}\\ &= \frac{n}{A} - \frac{1}{3}\cdot\left(\frac{n}{A}\right)^3 + \frac{1}{5}\cdot\left(\frac{n}{A}\right)^5 - \frac{1}{7}\cdot\left(\frac{n}{A}\right)^7 \pm \dots,\end{aligned}$$

somit

$$c'' = -\frac{1}{3}\cdot\frac{n^3}{A^2} + \frac{1}{5}\cdot\frac{n^5}{A^4} - \frac{1}{7}\cdot\frac{n^7}{A^6}. \tag{10}$$

Für die üblichen Größen von Schneidenbreite $s = 4$ mm und Skalenabstand $A = 2000$ mm ($U = 1:1000$) ergeben sich folgende Werte für $c'$, $c''$ und $\delta\lambda'$:

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $n$ | | 10 | 20 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 400 | 500 mm |
| $\lambda'$ | | 10 | 20 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 400 | 500 $\mu$ |
| $c'$ | + | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,035 | 0,08 | 0,16 | 0,28 | 0,67 | 1,31 $\mu$ |
| $c''$ | — | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,08 | 0,28 | 0,66 | 1,29 | 2,22 | 5,21 | 10,04 mm |
| $\delta\lambda'$ | — | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,09 | 0,32 | 0,74 | 1,45 | 2,50 | 5,88 | 11,35 $\mu$ |
| $\frac{\delta\lambda'}{\lambda'}\cdot 100$ | — | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,09 | 0,21 | 0,37 | 0,50 | 0,83 | 1,47 | 2,27 |

Die an $\lambda'$ anzubringende Korrektion $\delta\lambda'$ bleibt demnach bis $n = 100$ mm unter $^1/_{10}$% und ist somit gegenüber den sonstigen Fehlern zu vernachlässigen. Selbst bei $n = 200$ mm — wohl dem größten bei Stahl auftretenden Ausschlag — beläuft sie sich erst auf $^1/_3$%. Ihre Größe kann man aus der Kurve in Abb. 2 entnehmen.

b) Spiegel in der Anfangslage nicht senkrecht zur Fernrohrachse.

Steht der Spiegel in der Ausgangsstellung nicht senkrecht zu der (in Abb. 3) gestrichelt gezeichneten Fernrohrachse, sondern ist er dagegen um den kleinen Winkel $\varphi$ geneigt, so gelten die Beziehungen

$$\operatorname{tg} 2\varphi = \frac{n'}{A},$$

$$\operatorname{tg} 2(\varphi + \alpha) = \frac{n' + n''}{A},$$

oder

$$\frac{\operatorname{tg} 2\varphi + \operatorname{tg} 2\alpha}{1 - \operatorname{tg} 2\varphi \cdot \operatorname{tg} 2\alpha} = \frac{n' + n''}{A},$$

$$A\cdot\left(\frac{n'}{A} + \operatorname{tg} 2\alpha\right) = (n' + n'')\cdot\left(1 - \frac{n'}{A}\cdot\operatorname{tg} 2\alpha\right),$$

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{n' + n'' - n'}{A + \frac{n'\cdot(n' + n'')}{A}} = \frac{n''}{A}\cdot\left[1 - \frac{n'\cdot(n' + n'')}{A^2}\right] = \frac{n''}{A}(1 - C).$$

Das Korrektionsglied $C$ hat einen um so stärkeren prozentualen Einfluß, je größer $n''$ ist. Setzt man $n'' = 200$, $A = 2000$ mm, so kann man, da man ja $n'$ stets klein halten wird, in erster Annäherung schreiben:

$$C = \frac{n' \cdot n''}{A^2} = \frac{n'}{2 \cdot 10^4}. \qquad 11)$$

Mit $n' = 10$ mm wird $C = 5 \cdot 10^{-4}$ und durch seine Vernachlässigung nur ein Fehler von 0,05% bewirkt, der stets unberücksichtigt bleiben kann. Das gilt um so mehr, je sorgfältiger man den Spiegel senkrecht zur Fernrohrachse ausrichtet.

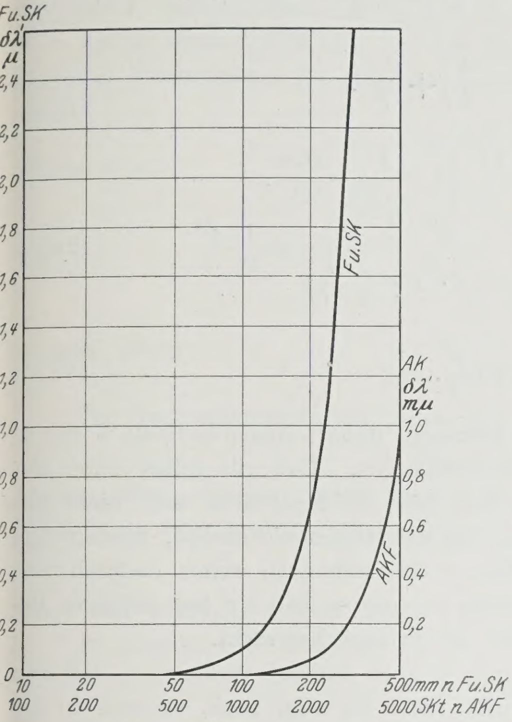


Abb. 2.

Nebenbei sei bemerkt, daß auch der Pyramidalfehler, der dadurch entsteht, daß der Spiegel senkrecht zur Zeichnungsebene aus der Senkrechten zur Fernrohrachse

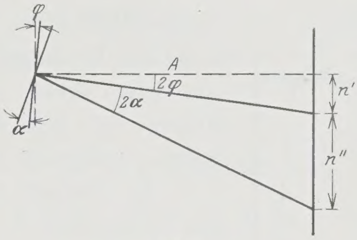


Abb. 3.

herausgekippt ist, stets genügend klein gehalten werden kann, wenn man darauf achtet, daß der Schnittpunkt des Fadenkreuzes möglichst auf der Mitte der Striche bleibt.

c) Drehung der Meßbrücke,

In der Ausgangsstellung stehe die Schneide $s$ senkrecht zur Stabachse, während die Meßbrücke unter dem Winkel $\psi$ dagegen geneigt sei (Abb. 4). Durch die Verlängerung $\lambda'$ dreht sich die Schneide um den zu beobachtenden Winkel $\alpha$, gleichzeitig aber auch die Meßbrücke um den Winkel $\varphi$. Durch Gleichung 7) ermittelt man dann nicht die Größe $\lambda'$, sondern $\lambda' - \delta$. Der Fehler $\delta$ berechnet sich aus

$$\delta = l' \cdot \cos(\psi - \varphi) - l' \cdot \cos \psi$$

oder, da $\varphi$ eine kleine Größe, aus

$$\delta = l' \cdot (\cos \psi + \varphi \cdot \sin \psi) - l' \cdot \cos \psi = l' \cdot \varphi \cdot \sin \psi.$$

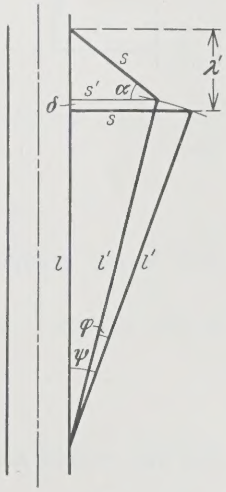


Abb. 4.

Da

$$\sin \psi = \frac{s}{l'}, \qquad \operatorname{tg} \psi = \frac{s}{l},$$

so wird

$$\delta = s \cdot \varphi.$$

Nun ist

$$\operatorname{tg}(\psi - \varphi) = \frac{s'}{l + \delta} = \frac{s \cdot \cos \alpha}{l + \delta}$$

und, da auch $\alpha$ und $\psi$ kleine Größen sind,

$$\psi - \varphi = \frac{s}{l} \cdot \left(1 - \frac{1}{2} \cdot \alpha^2\right) \cdot \left(1 - \frac{\delta}{l}\right) = \frac{s}{l} \cdot \left[1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{(\lambda' - \delta)^2}{s^2}\right] \cdot \left(1 - \frac{\delta}{l}\right),$$

oder

$$\varphi = \frac{1}{2} \cdot \frac{(\lambda' - \delta)^2}{s \cdot l} \cdot \left(1 - \frac{\delta}{l}\right) + \frac{s \cdot \delta}{l^2}.$$

Somit wird

$$\delta = s \cdot \varphi = \frac{1}{2} \cdot \frac{(\lambda' - \delta)^2}{l} \cdot \left(1 - \frac{\delta}{l}\right) + \frac{s^2 \cdot \delta}{l^2},$$

$$\delta = \frac{1}{2} \cdot \frac{\lambda'^2}{l - \frac{s^2}{l} + \lambda' \cdot \left(1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{\lambda'}{l}\right)} \approx \frac{1}{2} \cdot \frac{\lambda'^2}{l} \qquad 12\text{a})$$

und

$$\frac{\delta}{\lambda'} \cdot 100 = 50 \cdot \frac{\lambda'}{l}. \qquad 12\text{b})$$

Bei $l = 200$ mm wird $\lambda'$ etwa 0,1 mm betragen; damit wird $\delta = 0{,}025\,\%$ von $\lambda'$ und ist somit stets zu vernachlässigen. Das gilt selbst unter Berücksichtigung des Umstandes, daß die Meßbrücke sich nicht um eine den Umfangskreis des Stabes tangierende Achse, sondern um eine Sehne dreht. Der Fehler $\delta$ läßt sich noch weiter dadurch verringern, daß man die Schneide so ansetzt, daß sie bei mittlerer Belastung senkrecht zur Achse des Probestabes steht.

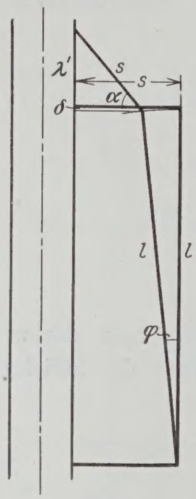



Abb. 5.

Im Notfalle könnte man $\delta$ noch dadurch verkleinern, daß man den Drehpunkt der Meßbrücke nicht an dem Stab, sondern in der Entfernung $s$ von ihm anbrächte, wenn auch nicht verkannt werden soll, daß die technische Ausführung gewisse Schwierigkeiten bereitet. Nach Abb. 5 ist

$$\delta = l - l \cdot \cos \varphi = \frac{1}{2} \cdot l \cdot \varphi^2,$$

$$s = s' + l \cdot \sin \varphi = s \cdot \cos \alpha + l \cdot \varphi,$$

$$\varphi = \frac{1}{2} \cdot \frac{s}{l} \cdot \alpha^2,$$

somit

$$\delta = \frac{1}{8} \cdot \frac{s^2}{l} \cdot \alpha^4,$$

und da mit genügender Annäherung $\alpha = \frac{\lambda'}{s}$,

$$\delta = \frac{1}{8} \cdot \frac{\lambda'^4}{s^2 \cdot l},$$

$$\frac{\delta}{\lambda'} \cdot 100 = 12{,}5 \cdot \frac{\lambda'^3}{s^2 \cdot l}. \qquad 13)$$

Mit den vorher angegebenen Werten wird $\delta$ gleich $4 \cdot 10^{-6}\,\%$ von $\lambda'$.

## d) Einfluß der Temperatur.

Um einen Überblick zu gewinnen, sei angenommen, daß sich die Temperatur des Versuchsraumes plötzlich um $T$ Grad ändere. Von diesem Augenblick (Zeit 0) ab werden sich dann die Temperaturen des Probestabs und der Meßbrücke ändern, bis beide nach unendlich langer Zeit die Raumtemperatur annehmen.

Bezeichnet man die jeweilige Temperaturdifferenz zwischen Raum und Körper mit $t$, die Zeit (in Min.) mit $z$, das Gewicht (in Gramm) mit $G$, die Oberfläche (in $cm^2$) mit $F$, die spezifische Wärme mit $c$, den Koeffizienten der äußeren Wärmeleitung, d. h. die je Minute und $cm^2$ bei der Temperaturdifferenz $1^0$ an die Umgebung abgegebene Wärmemenge (in gcal) mit $\lambda$, so ist nach dem Newtonschen Abkühlungsgesetz

$$-G \cdot c \cdot dt = F \cdot \lambda \cdot t \cdot dz, \tag{14}$$

woraus folgt

$$\frac{dt}{t} = -\frac{F}{G} \cdot \frac{\lambda}{c} \cdot dz = -A \cdot dz, \tag{15}$$

wo

$$A = \frac{F}{G} \cdot \frac{\lambda}{c} \tag{16}$$

ist, und weiter

$$t = T \cdot e^{-A \cdot z}. \tag{17}$$

Die Temperaturänderung $\tau$ des Körpers wird somit

$$\tau = T - t = T \cdot (1 - e^{-A \cdot z}). \tag{18}$$

Unterscheidet man die beiden Körper (Probestab und Meßbrücke) durch die Indizes $'$ und $''$, so wird ihre Temperaturdifferenz $\delta t$ zu einer bestimmten Zeit $z$

$$\delta t = \tau' - \tau'' = T \cdot (e^{-A'' \cdot z} - e^{-A' \cdot z}); \tag{19}$$

sie ist also gleich 0 zu den Zeiten $z = 0$ und $z = \infty$.

$\delta t$ erreicht sein Maximum für eine Zeit $z = Z$, die sich bestimmt aus

$$\frac{d\,\delta t}{dz} = 0 = T \cdot (-A'' \cdot e^{-A'' \cdot Z} + A' \cdot e^{-A' \cdot Z}),$$

woraus folgt

$$e^{-A' \cdot Z} = \frac{A''}{A'} \cdot e^{-A'' \cdot Z},$$

$$Z = \frac{\ln A' - \ln A''}{A' - A''},$$

$$= 2{,}303 \cdot \frac{\log A' - \log A''}{A' - A''}. \tag{20}$$

Bei gleichem $\lambda$, das man genügend genau für Stahl (Probestab) und Aluminium (Meßbrücke) annehmen kann, wird

$$Z_1 = \frac{2{,}303}{\lambda} \cdot \frac{\log \frac{F'}{G' \cdot c'} - \log \frac{F''}{G'' \cdot c''}}{\frac{F'}{G' \cdot c'} - \frac{F''}{G'' \cdot c''}}. \tag{21a}$$

Bestehen Probestab und Meßbrücke aus dem gleichen Werkstoff (Stahl), so vereinfacht sich diese Gleichung zu

$$Z_2 = 2{,}303 \cdot \frac{c}{\lambda} \cdot \frac{\log \frac{F'}{G'} - \log \frac{F''}{G''}}{\frac{F'}{G'} - \frac{F''}{G''}}. \tag{21b}$$

Der Unterschied $\delta l$ der Längenänderungen von Probestab und Meßbrücke folgt aus

$$\delta l_1 = l \cdot \tau' \cdot \alpha' - l \cdot \tau'' \cdot \alpha'' \tag{22}$$

$$= l \cdot T \cdot (\alpha' - \alpha'') - l \cdot T \cdot (\alpha' \cdot e^{-A' \cdot Z} - \alpha'' \cdot e^{-A'' \cdot Z}). \tag{23a}$$

Bei gleichem Werkstoff wird

$$\delta l_2 = -l \cdot T \cdot \alpha \cdot (e^{-A' \cdot Z} - e^{-A'' \cdot Z}). \tag{23b}$$

Diese Gleichung unterscheidet sich von der für die Temperaturdifferenz (Gl. 19)) nur durch das Hinzukommen des Faktors $l \cdot \alpha$.

Die Zeit $Z'$, für die $\delta l$ ein Maximum wird, folgt aus Gl. 23a):

$$\frac{d\,\delta l_1}{d Z} = 0 = l \cdot T \cdot (\alpha' \cdot A' \cdot e^{-A' \cdot Z'} - \alpha'' \cdot A'' \cdot e^{-A'' \cdot Z'}),$$

$$e^{-A' \cdot Z'} = \frac{\alpha'' \cdot A''}{\alpha' \cdot A'} \cdot e^{-A'' \cdot Z'},$$

zu

$$Z' = 2{,}303 \cdot \frac{\log(\alpha' \cdot A') - \log(\alpha'' \cdot A'')}{A' - A''}. \qquad 24)$$

Bei gleichem $\lambda$ wird

$$Z_1' = \frac{2{,}303}{\lambda} \cdot \frac{\log\left(\frac{F'}{G'} \cdot \frac{\alpha'}{c'}\right) - \log\left(\frac{F''}{G''} \cdot \frac{\alpha''}{c''}\right)}{\frac{F'}{G' \cdot c'} - \frac{F'}{G'' \cdot c''}} \qquad 25\text{a})$$

und bei gleichem Werkstoff

$$Z_2' = 2{,}303 \cdot \frac{c}{\lambda} \cdot \frac{\log \frac{F'}{G'} - \log \frac{F''}{G''}}{\frac{F'}{G'} - \frac{F''}{G''}}, \qquad 25\text{b})$$

also derselbe Wert wie in Gl. 21b).

Die Zeiten $Z$ und $Z'$ sind, wie zu erwarten war, unabhängig von der anfänglichen Temperaturdifferenz $T$.

Für den Probestab aus Stahl gilt bei 20 mm Durchmesser:

$F' = 2\pi \cdot l\,\text{cm}^2$ ($l$ die Länge des durch die Meßbrücke abgegriffenen Stücks),

$G' = 1 \cdot \pi \cdot l \cdot 7{,}8$ g

$\frac{F'}{G'} = 0{,}36\ \text{cm}^2/\text{g},$

$c' = 0{,}113, \quad \alpha' = 11{,}5 \cdot 10^{-6};$

für die Meßbrücke aus Aluminium bei einem Querschnitt von $10 \cdot 3\ \text{mm}^2$:

$$F'' = 2 \cdot 1 \cdot l + 2 \cdot 0{,}3 \cdot l\ \text{cm}^2,$$
$$G'' = 1 \cdot 0{,}3 \cdot l \cdot 2{,}5\ \text{g},$$
$$\frac{F''}{G''} = 3{,}46\ \text{cm}^2/\text{g},$$
$$c'' = 0{,}22, \quad \alpha'' = 23 \cdot 10^{-6}.$$

Für eine Meßbrücke aus Stahl würde gelten

$$F'' = 2 \cdot 1 \cdot l + 2 \cdot 0{,}3 \cdot l\ \text{cm}^2,$$
$$G'' = 1 \cdot 0{,}3 \cdot l \cdot 7{,}8\ \text{g},$$
$$\frac{F''}{G''} = 1{,}11\ \text{cm}^2/\text{g},$$
$$c'' = 0{,}113, \quad \alpha'' = 11{,}5 \cdot 10^{-6}.$$

Für $\lambda$ hatten frühere Versuche (3) bei $T = 5^0$ ergeben

$$\lambda = 0{,}008\ \frac{\text{g cal}}{\text{cm}^2 \cdot \text{Min} \cdot \text{Grad}}.$$

Nach der „Hütte" ist für ruhende Luft und senkrechte Wand bei

$$T = 5^0 \quad \lambda = 0{,}34\ \frac{\text{kg cal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Grad}} = 0{,}0058\ \frac{\text{g cal}}{\text{cm}^2 \cdot \text{Min} \cdot \text{Grad}},$$

$$T = 1^0 \quad \lambda = 0{,}30\ \frac{\text{kg cal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Grad}} = 0{,}0050\ \frac{\text{g cal}}{\text{cm}^2 \cdot \text{Min} \cdot \text{Grad}}.$$

Da diese Werte von derselben Größenordnung sind, soll, da es sich doch immer nur um eine Überschlagsrechnung handeln kann, mit $\lambda = 0{,}008$ gerechnet werden. Damit werden die Zeiten des größten Temperaturunterschiedes

nach Gl. 21a): $Z_1 = 16$ Min, Meßbrücke aus Aluminium;
nach Gl. 21b): $Z_2 = 21$ Min, Meßbrücke aus Stahl;

und die Zeiten des größten Längenunterschiedes

nach Gl. 25a): $Z_1' = 23$ Min, Meßbrücke aus Aluminium;
nach Gl. 25b): $Z_2' = 21$ Min, Meßbrücke aus Stahl.

Für diese Zeiten folgt aus Gl. 17) für den größten Temperaturunterschied bei $T = 1^0$ bei Meßbrücken aus

| Aluminium | | Stahl | |
|---|---|---|---|
| $t' = 0{,}667^0$ | $t'' = 0{,}133^0$ | $t' = 0{,}585^0$ | $t'' = 0{,}192^0$ |
| $\delta t_1 = 0{,}53^0$ | | $\delta t_2 = 0{,}39^0$ | |

und aus Gl. 17) und 22) für die Temperaturen des größten Längenunterschiedes und diesen selbst bei $T = 1^0$ bei Meßbrücken aus

| Aluminium | | Stahl | |
|---|---|---|---|
| $t' = 0{,}555^0$ | $t'' = 0{,}056^0$ | $t' = 0{,}585^0$ | $t'' = 0{,}192^0$ |
| $\tau' = 0{,}445^0$ | $\tau'' = 0{,}944^0$ | $\tau' = 0{,}415^0$ | $\tau'' = 0{,}808^0$ |
| $\delta l_1 = 3{,}32\,\mu$ | | $\delta l_2 = 0{,}90\,\mu$. | |

Im übrigen sind die Größen $\delta t$ und $\delta l$ proportional dem anfänglichen Temperaturunterschied $T$.

Die Verhältnisse werden noch dadurch verschlechtert, daß der Probestab durch die Einspannung in der Maschine wärmeträger wird, andererseits aber dadurch gemildert, daß sich die Temperaturunterschiede von Probestab und Meßbrücke durch Strahlung bis zum gewissen Grade ausgleichen.

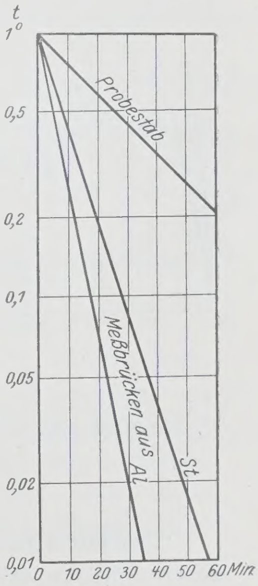


Abb. 6.

Durch geschickte Versuchsanordnung lassen sich nun aber die von der Temperaturänderung herrührenden Fehler, die selbst bei einer Verlängerung $\lambda$ von 100 $\mu$ noch $3^1/_3$ %, bei kürzeren Verlängerungen entsprechend mehr ausmachen, und die im übrigen proportional der Länge der Meßbrücke sind, ganz beträchtlich heruntersetzen. Wenn man nämlich a) von der Vorlast auf b) die Versuchslast, dann c) wieder zurück auf die Vorlast geht und das Mittel aus den Ablesungen bei a) und c) nimmt, so wird der Einfluß der Temperatur, solange man linearen Verlauf der Längenänderungen mit der Zeit annehmen kann — was für kurze Zeiten immer gestattet ist — ausgeschaltet. Es macht sich dann nur noch ein ständiges Wandern der Ablesungen für die Vorlast bemerkbar.

Für die Berechnung von $\delta t$ und $\delta l$ zu beliebigen Zeiten geht man am besten von Gl. 17) aus, die durch Logarithmieren übergeht in

$$\log t = \log T - \frac{F}{G} \cdot \frac{\lambda}{c} \cdot \frac{1}{2{,}303} \cdot Z .$$

Die graphische Darstellung auf logarithmischen Millimeterpapier ($z$ als Abszisse, $\log t$ als Ordinate) gibt also gerade Linien. Diese sind mit den vorher angegebenen Zahlen für $T = 1^0$ in Abb. 6 für den Probestab aus Stahl und Meßbrücken aus Aluminium

und Stahl eingetragen. Aus diesen sind die nachstehend aufgeführten Werte von $t'$ für den Probestab, $t''$ für die Meßbrücken aus Aluminium bzw. Stahl (Al und St) entnommen und daraus die Größen

$$\delta t_1 \text{ und } \delta t_2 (= t' - t''),\ \tau' (= T - t'),\ \tau'' (= T - t'')$$

sowie $\delta l_1$ und $\delta l_2$ für $l = 200$ mm berechnet

| | z | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 Min |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Stab | $t'$ | 1,000 | 0,884 | 780 | 690 | 606 | 530 | 467 | 410 | 363 | 318 | 280 | 246 | 217° |
| Al | $t''$ | 1,000 | 0,591 | 305 | 150 | 084 | 044 | 022 | 011 | <010 | | | | |
| | $\delta t_1$ | 0,00 | 29 | 48 | 54 | 52 | 49 | 45 | 40 | 36 | 32 | 28 | 25 | 22° |
| St | $t''$ | 1,000 | 0,710 | 500 | 320 | 213 | 144 | 095 | 062 | 043 | 029 | 020 | 013 | <01° |
| | $\delta t_2$ | 0,00 | 17 | 28 | 37 | 39 | 39 | 37 | 35 | 32 | 29 | 26 | 23 | 21° |
| Stab | $\tau'$ | 0,000 | 116 | 220 | 310 | 394 | 470 | 533 | 590 | 637 | 682 | 720 | 754 | 783° |
| Al | $\tau''$ | 0,000 | 409 | 695 | 850 | 916 | 956 | 978 | 989 | > 99° | | | | |
| | $\delta l_1$ | 0,00 | 1,61 | 2,69 | 3,19 | 3,29 | 3,31 | 3,27 | 3,18 | 3,12 | 3,03 | 2,95 | 2,87 | 2,80 $\mu$ |
| St | $\delta l_2$ | 0,00 | 0,39 | 0,64 | 0,85 | 0,90 | 0,90 | 0,85 | 0,81 | 0,74 | 0,67 | 0,60 | 0,55 | 0,51 $\mu$ |

Danach beträgt die größte innerhalb 5 Minuten eintretende Längenänderung für Meßbrücken aus Aluminium und Stahl 1,61 bzw. 0,39 $\mu$. Würde man die Ablesungen bei der Vorlast zu den Zeiten $z = 0$ und $z = 10$ Min. und die bei der Hauptlast zur Zeit $z = 5$ Min. vornehmen, so wären die Fehler bei

Meßbrücke aus Aluminium $\frac{1}{2} \cdot 2{,}69 - 1{,}61 = -0{,}26\ \mu$,

Meßbrücke aus Stahl $\frac{1}{2} \cdot 0{,}64 - 0{,}39 = -0{,}07\ \mu$.

Da man nun $\lambda'$ höchstens auf 0,1 $\mu$ bestimmen kann, so werden die durch die Temperatur verursachten Fehler bei Meßbrücken aus Stahl stets unterhalb dieser Grenze bleiben. Bei solchen aus Aluminium müßte man dafür sorgen, daß keine $^1/_4{}^0$ übersteigenden plötzlichen Temperaturänderungen eintreten, oder man muß die Beobachtungen rascher als angenommen hintereinander ausführen.

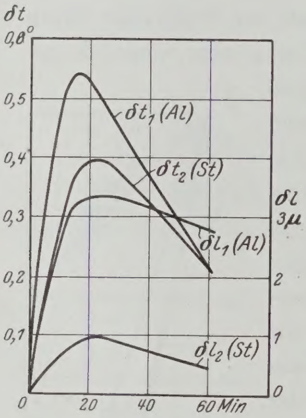


Abb. 7.

Der Verlauf von $\delta t_1$, $\delta t_2$, $\delta l_1$ und $\delta l_2$ mit der Zeit $z$ ist in Abb. 7 für Meßbrücken aus Aluminium und Stahl wiedergegeben.

Die Längsdehnung $\varepsilon'$ ergibt sich nun aus $\varepsilon' = \lambda'/l$. Die Länge $l$ einer Meßbrücke aus Aluminium wird durch $1^0$ Temperaturänderung um $23 \cdot l \cdot 10^{-6}$ geändert. Der dadurch verursachte prozentuale Fehler von $\varepsilon'$ beträgt $2{,}3 \cdot 10^{-3}$% und ist also stets zu vernachlässigen.

## C. Bestimmung von Verlängerung $\lambda'$, Längsdehnung $\varepsilon'$ und des Elastizitätsmoduls $E$ mit Fernrohr und Skala.

### a) Der Fehler $\delta\lambda'$ der Verlängerung.

Nachdem durch vorstehende Ausführungen gezeigt ist, daß die von dem Martensschen Apparat und der Temperatur herrührenden Fehler in der Bestimmung von $\lambda'$ stets vernachlässigbar klein sind bzw. durch geeignete Versuchsausführung gehalten und im Notfalle berücksichtigt werden können, soll jetzt untersucht werden, mit welcher Genauigkeit $\lambda'$ bei Benutzung von Fernrohr und Skala bestimmt werden kann. Nach Gl. 7) ist

$$\lambda = \frac{n \cdot s}{2A} = n \cdot U, \qquad U = \frac{s}{2A}, \qquad \frac{1}{U} = \frac{2A}{s}.$$

Bezeichnet man die Fehler der einzelnen Glieder wieder durch ein vorgesetztes $\delta$, so ergibt sich der mittlere Fehler $\delta\lambda'$ von $\lambda'$ aus

$$\delta\lambda' = \pm\lambda' \cdot \sqrt{\left(\frac{\delta n}{n}\right)^2 + \left(\frac{\delta s}{s}\right)^2 + \left(\frac{\delta A}{A}\right)^2}, \tag{26a}$$

beziehungsweise

$$\delta\lambda' = \pm\lambda' \cdot \sqrt{\left(\frac{\delta n}{n}\right)^2 + \left(\frac{\delta U}{U}\right)^2}, \tag{26b}$$

und

$$\delta\left(\frac{1}{U}\right) = \pm\frac{1}{U} \cdot \sqrt{\left(\frac{\delta s}{s}\right)^2 + \left(\frac{\delta A}{A}\right)^2}. \tag{26c}$$

$\delta\lambda'$ hängt also von $\delta n$, $\delta s$ und $\delta A$ ab.

Um einen zahlenmäßigen Überblick zu erhalten, sei wieder angenommen: $s = 4$ mm, $A = 2000$ mm, somit $U = 1:1000$; ferner $\lambda' = 50\ \mu$ und damit $n = 50$ mm.

Bei den üblichen Skalenfernrohren kann man die $^1/_{10}$ mm noch schätzen. Da es sich um jeweils 2 Ablesungen handelt, kann man somit setzen

$$\delta n = \pm\sqrt{2 \cdot \left(\tfrac{1}{10}\right)^2} = \pm 0{,}14 \text{ mm}.$$

### b) Der Fehler $\delta s$ der Schneide.

Die Schneiden des Martensschen Apparates (der von der Zeiss-Ikon A.-G., Goerzwerk, zur Verfügung gestellt war, wofür ihr auch an dieser Stelle verbindlichst gedankt sei) wurden auf dem Universal-Meßmikroskop (UMM) von Zeiss gemessen, auf dem sie so ausgerichtet wurden, daß beide Kanten im Mikroskop scharf erschienen. Der Schlitten des UMM wurde so verschoben, daß der Faden des Mikroskops einmal von dem dunkeln in den hellen Teil des Gesichtsfeldes, das andere Mal im entgegengesetzten Sinne wanderte. Die beiden Bestimmungen ergaben (Mittelwerte)

$$4012{,}9 \text{ und } 4011{,}5\ \mu,$$

im Mittel somit 4012 $\mu$ für die eine (und 4011 $\mu$ für die andere) Schneide[1].

Die Genauigkeit setzt sich zusammen aus der Unsicherheit des Maßstabes des UMM von $\pm 0{,}5\ \mu$ und einem mittleren Beobachtungsfehler von $\pm 0{,}3\ \mu$. Sie wird aber dadurch verschlechtert, daß die Schneiden infolge Abnutzung auf jeder Seite um etwa 2 $\mu$ hohl waren, und daß ferner beim Anpressen an den Probestab durch den Druck der Meßbrücke eine Abplattung eintritt, die schwer zu berechnen ist, da der Krümmungshalbmesser der Schneide nicht bekannt ist. Deshalb soll $\delta s = \pm 1\ \mu$ gesetzt werden.

Störend sind bei dem Komparatormessungen immer die Reflexe an den Schneidenkanten. Deshalb wurde versucht, an die Schneide 2 Strichendmaße anzuschieben (das sind Endmaße, die in kleinem Abstande von der einen Meßfläche und parallel zu ihr einen Meßstrich tragen) und durch Messung des Strichabstandes mit und ohne zwischengelegte Schneide ihre Breite zu bestimmen. Dieses Verfahren führte jedoch nicht zum Ziel, da sich das Anbringen der Endmaße an die Schneide nicht genügend gleichmäßig ausführen ließ.

### c) Der Fehler $\delta A$ des Skalenabstandes.

Da es für die folgenden Untersuchungen erwünscht war, stets denselben Skalenabstand $A$ zu haben, wurden in ein Stahlrohr unverrückbar zwei Dorne eingesetzt und in diese je eine Stahlkugel zentrisch eingepreßt. Um gleichbleibende Verhältnisse zu

---

[1] Von dem Hersteller war, vor allerdings 14 Jahren, der Wert 4020 $\mu$ angegeben.

erhalten, wurde es stets mittels zweier Prismen in den „günstigsten Punkten“ unterstützt (im Abstande $0{,}2113 \cdot A$ von jedem Ende). Die Länge wurde mittels einer Endmaß-Rachenlehre zu 2001,30 mm mit einer Genauigkeit von etwa $\pm 10\ \mu$ bestimmt (worin die Fehler der Endmaße mit enthalten sind, während die Meßergebnisse nur um $\pm 2\ \mu$ schwankten). Um das Rohr jederzeit an den Spiegel heranführen zu können, ohne seine Lage zu ändern, wurde es auf seinem Stativ durch eine Schraube *Sch* sanft verschoben (Abb. 8). An sein linkes Ende wurde dann die Skala herangebracht.

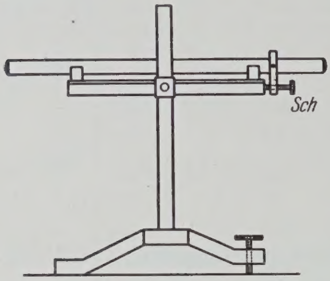


Abb. 8.

Das gefundene Maß ist noch zu vermehren um die optische Dicke $d/n$ des Spiegels ($d$ die geometrische Dicke, $n$ der Brechungsindex), also um $\frac{2}{3} \cdot d$. Dadurch wird

$$A = 2002{,}3 \text{ mm}.$$

Da nun die Bestimmung von $d$ wegen der rückseitigen Versilberung und ihrer Schutzschicht nur auf einige $^1/_{10}$ mm vorgenommen werden kann, auch der Brechungsindex nicht genau bekannt ist, wird man den Fehler $\delta A$ von $A$ zu etwa $\pm 0{,}2$ mm ansetzen müssen.

Demgegenüber verschwinden die durch die Temperatur verursachten Änderungen von $A$, da sie für $1^0$ nur 0,023 mm ausmachen.

Mit $s = 4{,}012$ mm und $A$ 2002,3 mm berechnet sich das Übersetzungsverhältnis $U$ zu $1:998{,}2$.

### d) Die Größe der Fehler $\delta\lambda'$ und $\delta(1/U)$ der Verlängerung und des Übersetzungsverhältnisses.

Mit den ermittelten Werten wird nach Gl. 26c):

$$\delta(1/U) = \pm 1000 \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{4000}\right)^2 + \left(\frac{0{,}2}{2000}\right)^2} = \pm \frac{1000}{4000} \cdot \sqrt{1 + 0{,}16} = \pm 0{,}3 \sim 0{,}03\,\%,$$

nach Gl. 26a):

$$\delta\lambda' = \pm 50 \cdot \sqrt{\left(\frac{0{,}14}{50}\right)^2 + \left(\frac{1}{4000}\right)^2 + \left(\frac{0{,}2}{2000}\right)^2}$$

$$= \pm \frac{50}{4000} \cdot \sqrt{125{,}44 + 1 + 0{,}16} = \pm 0{,}14\ \mu \sim 0{,}3\,\%.$$

### e) Die Fehler $\delta\varepsilon'$ und $\delta E$ der Längsdehnung und des Elastizitätsmoduls.

Da

$$\varepsilon' = \frac{\lambda'}{l} \tag{27}$$

ist, worin $l$ die Länge der Meßbrücke bedeutet, so wird

$$\delta\varepsilon' = \pm \varepsilon' \cdot \sqrt{\left(\frac{\delta\lambda'}{\lambda'}\right)^2 + \left(\frac{\delta l}{l}\right)^2}.$$

Die Längen der benutzten Meßbrücken ergaben sich durch Messung auf dem *UMM* für die je zwei

100 mm langen zu 99,99 bzw. 99,97 ± 0,02 mm,
150 mm langen zu 149,96 bzw. 150,01 ± 0,02 mm.

Damit wird für $l = 150$ mm und den bei den nachfolgenden Versuchen meist erhaltenen Wert von $\varepsilon' = 3 \cdot 10^{-4}$

$$\delta\varepsilon' = \pm 3 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{\left(\frac{0{,}14}{50}\right)^2 + \left(\frac{0{,}02}{150}\right)^2} = \pm \frac{3 \cdot 10^{-4}}{150} \cdot \sqrt{0{,}1764 + 0{,}0004}$$

$$= \pm 0{,}84 \cdot 10^{-6} \sim 0{,}3\,\%.$$

Der Fehler $\delta\varepsilon'$ ist also im wesentlichen durch $\delta\lambda'$ bedingt, während für die Meßbrücken auch eine Genauigkeit von etwa 0,1 mm noch ausreichend gewesen wäre.

Der Elastizitätsmodul $E$ folgt aus der Gleichung

$$E = \frac{l \cdot P}{\lambda' \cdot Q} = \frac{4 \cdot l \cdot P}{\lambda' \cdot \pi \cdot d^2}, \qquad 28)$$

worin $P$ die Last in kg, $Q$ den Querschnitt in $cm^2$ und $d$ den Stabdurchmesser in cm bedeuten, und somit sein Fehler $\delta E$ zu

$$\delta E = \pm E \sqrt{\left(\frac{\delta l}{l}\right)^2 + \left(\frac{\delta P}{P}\right)^2 + \left(\frac{\delta \lambda'}{\lambda'}\right)^2 + \left(\frac{2 \cdot \delta d}{d}\right)^2}.$$

Bei den meisten Versuchen war $P = 2000$ kg; $\delta P$ kann zu 0,5% und somit zu $\pm$ 10 kg angenommen werden.

Der Durchmesser $d$ wurde mittels Schraublehre und Vergleich mit Endmaßen an drei Stellen und je zwei zueinander senkrechten Durchmessern bestimmt und daraus das Mittel genommen. Die größten Unterschiede an den einzelnen Meßstellen beliefen sich bei einem Stab auf 37 $\mu$, bei fünf anderen auf 15 bis 20 $\mu$, bei weiteren vier auf 3 bis 6 $\mu$ und blieben bei den fünf übrigen unter 2 $\mu$. Im Mittel wird man demnach $\delta d = \pm 5\ \mu$ setzen können. Damit wird

$$\delta E = \pm 2 \cdot 10^6 \cdot \sqrt{\left(\frac{0{,}02}{150}\right)^2 + \left(\frac{10}{2000}\right)^2 + \left(\frac{0{,}14}{50}\right)^2 + \left(\frac{10}{20\,000}\right)^2}$$
$$= \pm \frac{2 \cdot 10^6}{2000} \cdot \sqrt{0{,}0729 + 100 + 31{,}36 + 1} = \pm 11500 \text{ kg} \sim 0{,}6\,\%.$$

Einer der untersuchten Stäbe hatte nur einen Durchmesser $d = 5$ mm und eine Meßlänge $l = 100$ mm. Seiner größeren Gleichmäßigkeit wegen kann man bei ihm aber $\delta d = 2\,\mu$ ansetzen. Damit wird für diesen Stab:

$\delta\lambda' = \pm 0{,}14\,\mu \sim 0{,}56\,\%$; $\delta\varepsilon' = \pm 1{,}4 \cdot 10^{-6} \sim 0{,}6\,\%$; $\delta E = \pm 15\,000 \text{ kg} \sim 0{,}7\,\%$.

Die mittleren Fehler bleiben also im wesentlichen dieselben wie vorher.

Aus den vorstehenden Betrachtungen folgt, daß die Fehler von $A$, $s$, $l$ und $d$, wie sie bei den durchgeführten Versuchen auftraten, praktisch ohne Bedeutung sind. Den maßgebenden Einfluß üben die Fehler von $n$ auf $\lambda'$ und damit auch auf $\varepsilon'$ aus, während für $E$ der Fehler von $P$ noch weit überwiegt, obwohl er nur zu ½% angenommen worden war. Bei der Bestimmung des Elastizitätsmoduls mit den üblichen Maschinen hat es also keinen Zweck, die Genauigkeit in der Messung von $\lambda'$ weiter zu steigern. Anders werden aber die Verhältnisse, wenn man mit kleinen Lasten, etwa durch unmittelbare Gewichtsbelastung arbeitet, da dann $\delta P$ nur noch etwa 0,01% ausmacht, womit das zweite Glied in der letzten Quadratwurzel sich auf 0,04 verringert, also praktisch bedeutungslos wird.

Unter diesen Umständen überwiegt der Fehler von $\lambda'$, d. h. der Ablesefehler $\delta n$, zumal dann wegen der kleineren Werte von $n$ das Glied $\delta n/n$ noch wesentlich größer wird.

## D. Die Bestimmung von Verlängerung $\lambda'$ und Längsdehnung $\varepsilon'$ mittels Autokollimationsfernrohrs.

### a) Das Autokollimationsfernrohr.

Eine wesentliche Steigerung der Ablesegenauigkeit läßt sich nun durch Benutzung des in der Materialprüfung leider noch wenig verwendeten Autokollimationsfernrohrs (AKF) erreichen.

Bei diesem dient als Marke gleichfalls ein (von der Seite her beleuchteter) einfacher oder Doppelfaden. Da er im Brennpunkt des Objektivs steht, treten die von

ihm ausgehenden Strahlen als Parallelbüschel aus diesem aus und auch nach Reflexion an dem Spiegel wieder ein (so daß der Abstand: Fernrohr-Spiegel gänzlich gleichgültig ist). Es entsteht somit in der Brennebene ein Bild des Fadens, das sich mit ihm deckt, wenn der Spiegel senkrecht zur Fernrohrachse steht, andernfalls dagegen verschoben ist. Der Abstand $n$ beider wird durch ein Schraubenmikrometer (SchM) gemessen, das entweder eine, in der Nullstellung mit dem Faden zusammenfallende Marke bis zur Koinzidenz mit dem Spiegelbilde oder aber den Faden selbst bis zum Zusammenfallen damit verschiebt. Im ersteren Falle mißt man unmittelbar $n$, im zweiten muß man dagegen die Steigung der Spindel mit ihrem doppelten Betrage nehmen, da man sonst nur $n/2$ ermitteln würde.

An die Stelle des Abstandes $A$ von Spiegel und Skala tritt hier die Brennweite $f$ des Objektivs, wodurch die Gl. 4b) übergeht in

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{n}{f}; \tag{29)}$$

es ist also in den vorhergehenden Betrachtungen nur $A$ durch $f$ zu ersetzen.

Nimmt man eine Brennweite $f$ von 500 mm, so wird — überschlagsweise — die Genauigkeit dadurch auf $^1/_4$ verringert. Gibt man der Spindel des SchM eine (wirksame) Steigung von 0,5 mm, so bedeutet 1 Skt. 5 $\mu$. Bei sehr guten Spiegeln kann man noch die $^1/_{10}$ Skt. schätzen, wegen mangelnder Güte muß man sich aber in der Regel mit $^1/_2$ oder $^1/_1$ Skt. begnügen. Selbst in diesem letzteren Falle wird aber die Ablesung 20 mal genauer als bei Fernrohr und Skala, insgesamt würde man also mit einer fünffachen Steigerung der Genauigkeit rechnen können.

### b) Die Bestimmung der Steigung der Spindel.

Zur Berechnung von $U$, $\lambda'$, $\varepsilon'$ und $E$ braucht man die Kenntnis der Spindelsteigung $h$ und der Brennweite $f$. Erstere wurde auf dem UMM an dem ausgebauten SchM bestimmt; sie ergab sich zu 0,251 mm, so daß die effektive Steigung $h = 0{,}502$ mm wird (da hier die zweite vorher erwähnte Ausführung vorlag).

Fortschreitende Fehler zeigten sich nicht, die inneren (für ganze Umdrehungen) blieben unter $\pm 1\,\mu$ (mit Ausnahme einer Stelle zu Anfang, die deshalb bei den Messungen nicht benutzt wurde), die periodischen (innerhalb einer Umdrehung) überstiegen nicht $\pm 0{,}3\,\mu$, so daß man maximal mit effektiven Fehlern von $\pm 2{,}5\,\mu$ rechnen kann.

### c) Die Bestimmung der Brennweite $f$.

Nach der Besselschen Methode ergab sich $f = 447{,}9$ mm mit einem maximalen Fehler von $\pm 0{,}36$ mm und einem mittleren Fehler von $\pm 0{,}2$ mm.

Eine weitere Kontrolle wurde auf folgende Weise ausgeführt: Auf den Tisch eines Libellenprüfers wurde ein gut ebener Spiegel gesetzt (Stahlplatte, wie sie bei der Interferenzmessung von Endmaßen gebraucht wird) und jener durch Unterlegen von Endmaßen um bestimmte Winkel geneigt. Die dadurch hervorgerufenen Verschiebungen des Spiegelbildes des Fadens wurden mit dem SchM gemessen.

Bezeichnet man den Kippwinkel mit $\varphi$, die Länge der Schiene des Libellenprüfers mit $l$, die Dicke des Endmaßes mit $d$, so ist

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{d}{l}, \qquad \operatorname{tg} 2\varphi = \frac{n}{f}$$

und somit

$$f = \frac{l \cdot n}{d}, \tag{30)}$$

da es sich hier stets um sehr kleine Winkel handelt.

Die Länge $l$ wurde mittels Endmaßen zu

$$l = 500{,}768 \text{ mm} \pm 5\ \mu$$

ermittelt. Die einzelnen Höhen $d$ wurden durch die Differenzen der Endmaße $1{,}9 - 1{,}3 = 0{,}6$ mm und $2{,}5 - 1{,}3 = 1{,}2$ mm gegeben. Diese Differenzen wurden auf dem Interferenzkomparator zu

$$0{,}599\,959 \text{ mm} \pm 5{,}4 \text{ m}\mu \quad \text{und} \quad 1{,}199\,945 \text{ mm} \pm 8{,}1 \text{ m}\mu$$

gemessen. Damit ergibt sich der mittlere Fehler $\delta f$ von $f$ bei $d = 0{,}6$ mm zu

$$\delta f = \pm f \cdot \sqrt{\left(\frac{\delta l}{l}\right)^2 + \left(\frac{\delta n}{n}\right)^2 + \left(\frac{\delta d}{d}\right)^2},$$

$$\delta f = \pm 450 \cdot \sqrt{\left(\frac{5 \cdot 10^{-3}}{500}\right)^2 + \left(\frac{2{,}5}{1000}\right)^2 + \left(\frac{5{,}4 \cdot 10^{-3}}{600}\right)^2}$$

$$= \pm \frac{450}{500} \cdot \sqrt{25 \cdot 10^{-6} + 1{,}56 + 20 \cdot 10^{-6}} = \pm 1{,}1 \text{ mm}$$

und bei $d = 1{,}2$ mm zu $\pm 0{,}55$ mm. Er ist ausschließlich durch die Fehler des SchM bedingt.

Die beiden Messungen ergaben: $f = 447{,}3$ und $448{,}8$ mm, im Mittel also $448{,}1$ mm $\pm 0{,}6$ mm.

Demnach wird man endgültig ansetzen dürfen

$$f = 448{,}0 \text{ mm} \pm 0{,}2 \text{ mm},$$

falls man dem aus der Besselschen Methode folgenden Wert das Hauptgewicht beilegt.

Aus den Messungen folgt weiter, daß 1 Skt. ein Kippwinkel von $1{,}16''$ entspricht.

Das Übersetzungsverhältnis berechnet sich zu

$$U = \frac{s}{2f} = \frac{4{,}012}{896{,}0} = 1 : 223{,}3.$$

### d) Die Fehler $\delta\lambda'$ und $\delta(1/U)$ der Verlängerung und des Übersetzungsverhältnisses.

Es sei zunächst untersucht, wie groß die in Abschnitt *Ba* berechneten Korrektionen $c'$ und $c''$ zur Reduktion der Ausschläge auf kleine Winkel sind. Mit den abgerundeten Werten $s = 4$ mm, $f = 450$ mm und $U = 1:225$ ergeben sich folgende Werte für $c'$, $c''$ und $\delta\lambda'$.

| $n$ | 50 | 100 | 200 | 500 | 1000 | 2000 | 3000 | 4000 | 5000 $\mu$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ~ 100 | 200 | 400 | 1000 | 2000 | 4000 | 6000 | 8000 | 10000 Skt. |
| $\lambda'$ | 222 | 444 | 889 | 2222 | 4444 | 8889 | 13333 | 17778 | 22222 m$\mu$ |
| $c'$ | + 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,025 | 0,059 | 0,11 m$\mu$ |
| $c''$ | — 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,044 | 0,106 | 0,21 m$\mu$ |
| $\delta\lambda'$ | — 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,05 | 0,22 | 0,53 | 1,00 m$\mu$ |
| $\frac{\delta\lambda'}{\lambda'} \cdot 100$ | — 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,0006 | 0,002 | 0,003 | 0,005 |

Die an $\lambda'$ anzubringenden Korrektionen können also stets vernachlässigt werden. Im übrigen sind sie auch aus Abb. 2 zu entnehmen.

Nach Gl. 26c) wird

$$\delta 1/U) = 225 \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{4000}\right)^2 + \left(\frac{0{,}2}{450}\right)^2} = \frac{225}{4000} \cdot \sqrt{1 + 3{,}2} = \pm 0{,}1 \sim 0{,}05\,\%.$$

Das Übersetzungsverhältnis wird also mit einer etwas geringeren prozentualen Genauigkeit ermittelt als beim Skalenfernrohr, was im wesentlichen von der Ungenauigkeit der Brennweite herrührt.

Nach Gl. 26a) wird

$$\delta\lambda' = \pm\,\lambda' \cdot \sqrt{\left(\frac{\delta n}{n}\right)^2 + \left(\frac{\delta s}{s}\right)^2 + \left(\frac{\delta f}{f}\right)^2}.$$

Mit $\delta n = \pm\, 2{,}5\ \mu$, $n = 11{,}2$ mm (entsprechend $\lambda' = 50\ \mu$) wird

$$\delta\lambda' = \pm\, 50 \cdot \sqrt{\left(\frac{2{,}5 \cdot 10^{-3}}{11{,}2}\right)^2 + \left(\frac{1}{4000}\right)^2 + \left(\frac{0{,}2}{450}\right)^2}$$

$$= \pm\, \frac{50}{4000} \cdot \sqrt{0{,}78 + 1 + 3{,}2} = \pm\, 0{,}03\ \mu \sim 0{,}06\%.$$

Die prozentuale Ungenauigkeit von $\lambda'$ wird also gegenüber der Bestimmung mit dem Skalenfernrohr auf den fünften Teil erniedrigt, wie vorher schon überschlagsweise berechnet war. Die Ablesegenauigkeit $\delta n$ ist nur noch von der Größenordnung von $\delta s$. Bei kleineren Werten von $\lambda'$ und entsprechend auch von $n$ gewinnt zwar das Glied mit $\delta n$ einen größeren Einfluß, im allgemeinen wird man aber mit dem ermittelten Wert von $\delta\lambda'$ rechnen können.

### e) Der Einfluß der Spiegelkrümmung.

Die ermittelten Genauigkeiten werden nun aber wesentlich dadurch beeinträchtigt, daß die dünnen Spiegel des Martenschen Apparates selten eben, sondern verzogen sind, und daß man, um ein scharfes Bild zu erhalten, die Fokussierung ändern muß[1], bei den beiden Spiegeln des benutzten Apparates z. B. um $+\,0{,}9$ bzw. $+\,2{,}23 \pm 0{,}02$ mm, wodurch die in die Formeln einzusetzende Größe $f$ die Werte 448,9 bzw. 450,23 mm annimmt.

Die Verschiebungen gegen die Fokussierung auf Unendlich wurden dadurch ermittelt, daß am Fernrohr eine Meßuhr angebracht wurde, deren Meßbolzen sich gegen den Schlittenkasten des Okulars legte.

Man müßte also eine solche Vorrichtung stets am AKF haben. Um von den Schwankungen der Größe $f$ unabhängig zu werden, wurde eine Methode gesucht, die unmittelbar das Übersetzungsverhältnis $U$ liefert, ohne Kenntnis von $s$ und $f$, wodurch dann deren Bestimmung entbehrlich wird. (Schluß folgt.)

---

# Über Dickenmessungen unter dem Mikroskop.

Von

**Karl John** in Cannstatt.

Messungen mikroskopischer Objekte bieten keinerlei Schwierigkeiten, solange es sich darum handelt, ihre Dimensionen in horizontaler, d. h. senkrecht zur Mikroskopachse liegender Ausdehnung zu bestimmen. Die Hilfsmittel dazu, Objekt- und Okularmikrometer, sind zu bekannt, als daß ich hier auf sie eingehen müßte.

Ganz anders liegen die Dinge, wenn die Ausdehnung eines Objektes auch in der dritten Dimension bestimmt werden soll. Es ist hier, wie ich gleich bemerken möchte, ein einwandfreies Verfahren noch nicht gefunden worden. Zwar wird der Histologe, der in seinem Präparat meist eine ganze Anzahl gleicher Objekte vorzufinden pflegt, die alle möglichen Lagen einnehmen, deren Messung also nach allen drei Dimensionen leicht möglich ist, weniger oft empfinden, wie schwierig es ist, die Dicke eines Objektes

---

[1] Zwischen Einstellung auf Unendlich und der bei Benutzung des Stahlspiegels auf dem Libellenprüfer (Abschnitt c) ergab sich kein Unterschied; dieser war also gut eben.

festzustellen, obschon es natürlich auch hier wünschenswert wäre, ein einwandfreies Verfahren zu kennen. Aber dem Zoologen und Botaniker steht oft genug nur ein einziges Objekt zur Verfügung, oder es soll gerade an einem speziellen eine Messung vorgenommen werden, und eben dies eine Objekt gestattet eine Wendung, etwa auf die Seite, nicht. Hilfsmittel, die das Objekt der Beobachtung von allen Seiten zugänglich machen, wie die Prismen- und Kapillar-Rotatoren, sind kostspielige und komplizierte Instrumente und stehen nur selten zur Verfügung. Also behilft man sich mit mehr oder minder rohen Schätzungen, oder mißt die Dicke der Objekte auf optischem Wege, nämlich mittels der Feinbewegung der Mikroskope. Dies ist aber nur möglich, wenn das Instrument mit einer solchen ausgestattet ist, die erlaubt, die Verschiebung des Tubus an der Mikrometerschraube abzulesen, was zwar bei vielen, aber leider lange nicht allen Mikroskopen der Fall ist.

Theoretisch wäre nun eine Dickenmessung mittels der Mikrometerschraube durchaus und auf einfachstem Wege so möglich, daß man zunächst auf den tiefsten Punkt des zu messenden Objektes einstellt, den Stand der Mikrometerschraube abliest und notiert, hierauf die Einstellung auf den höchsten Punkt vornimmt, erneut abliest und notiert. Die Differenz beider Ablesungen müßte dann die gesuchte Objektdicke sein. Diese Methode wäre, wenn sie zuverlässig sein würde, gewiß von einer bestechenden Einfachheit. Es fragt sich nur, ob sie es ist, und daß sie es eben nicht ist, sollen nachstehende Zeilen erweisen.

Wir müssen uns vor Augen halten, daß zum Gelingen einer auf solchem Wege vorgenommenen Dickenmessung eine Anzahl Voraussetzungen nötig sind, daß Optik und Objekt einer Reihe von Forderungen gerecht werden müssen, ohne deren Erfüllung eine Messung in vertikaler Richtung überhaupt unmöglich ist. Das Gelingen einer genauen Dickenmessung wird von folgenden Umständen in der Hauptsache abhängen:

1. Das Objektiv muß tatsächlich nur eine mathematische Ebene (ich nenne sie „theoretische Einstellebene") abbilden;

2. Das Objekt darf keinen wesentlich anderen Brechungsindex haben als das umgebende Medium;

3. Das Auge des Beobachters darf während der Messung eine Akkommodationstätigkeit nicht ausüben;

4. Die Bewegung des Tubus muß tatsächlich dem an der Mikrometerschraube abgelesenen Maße entsprechen;

5. Der beleuchtende Lichtstrahl muß das Objekt genau senkrecht (= parallel zur Meßrichtung) durchsetzen;

6. Das Objekt muß entweder a) vollkommen durchsichtig, oder, wenn opak, b) so geformt sein, daß seine obere, dem Objektiv zugekehrte Fläche kleiner ist als seine Grundfläche, wobei etwaige Ausbauchungen an den Seiten nur so gering sein dürfen, daß sie die Grundfläche nicht völlig verdecken.

Schon diese sechs Forderungen zeigen dem Kundigen, daß nicht eine einzige völlig erfüllt werden kann. Zu 1. wissen wir, daß jedem Objektiv die (wertvolle!) Eigenschaft zukommt, nicht eine genaue Ebene scharf abzubilden, sondern auch noch mehr oder weniger große Bezirke, die sich über und unter der theoretischen Einstellebene erstrecken. Und zwar ist diese Eigenschaft, die „Tiefenschärfe", nicht nur bei den einzelnen Typen der Objektive verschieden groß, sondern sie variiert sogar in kleinen Grenzen bei jedem einzelnen Objektiv. (Daß diese Tiefenschärfe bei den langbrennweitigen Objektiven größer ist als bei den starken, kurzbrennweitigen, ist

wohl bekannt.) Ebenso ist 2. überhaupt nicht zu erfüllen, das Objekt muß vielmehr, um überhaupt sichtbar zu sein, in der Regel einen vom Einschlußmedium möglichst verschiedenen Brechungsindex aufweisen. Übrigens ist dieser Punkt weniger von Bedeutung. Wichtig ist 3. Auch die Akkommodationstätigkeit des Auges läßt sich nicht unschädlich machen, sie ist für jeden Beobachter verschieden groß, ja, selbst für ein und denselben im Laufe der Tätigkeit nicht gleich, sie wird im Anfang, solange die Augen noch ausgeruht sind, größer sein als am Schluß einer Beobachtungsperiode, wenn sie ermüdet sein werden. Die Erfüllung der Forderung 4. ist, solange Messungen darüber (die im Gange sind! der Verf.) noch nicht vorliegen, unsicher, wahrscheinlich ist sie nicht. Allerdings geben sich die Mikroskopverfertiger alle Mühe, die Feinbewegungen so präzis als möglich zu gestalten, es werden aber wohl immer unvermeidliche Fehlerquellen zurückbleiben. Im Verlauf unserer Untersuchung wollen wir sie zunächst ignorieren und annehmen, daß Tubusbewegung und Ablesung an der Mikrometerschraube übereinstimmen. Leichter ist Forderung 5. zu verwirklichen, sie hängt vielfach von der Geschicklichkeit des Arbeitenden, genauer Zentrierung der Lichtquelle usw. ab. Wieviel von 6. erfüllbar ist, weiß jeder Mikroskopiker, darauf brauche ich hier nicht einzugehen.

Wir wollen uns hier zunächst einmal mit den einfachsten Fällen beschäftigen und einige Einflüsse, die bei ganz exakten Messungen sicher eine Rolle spielen, außer acht lassen. Es sei angenommen, daß Objektträger, Deckglas, Einbettungsmedium und jenes, das sich zwischen Objektiv und Deckglas befindet, zusammen eine homogene Schicht bilden, in der das Objekt von annähernd gleichem Brechungsindex sich befindet. Der gesamte Komplex werde von Lichtstrahlen durchsetzt, die parallel zur optischen Achse des Instrumentes verlaufen, und Tubusbewegung und Skalenablesung seien übereinstimmend. Bis auf letzteres sind in der Tat die vorausgesetzten Umstände eigentlich nur sehr wenig für die Praxis von Bedeutung, es müßte sich denn um ganz bestimmte, etwa kristalloptische Untersuchungen handeln. Unsere Objekte sind in der Regel in Kanadabalsam oder ähnlichem eingeschlossen und davon durchdrungen, so daß man wirklich fast von einer homogenen Schicht sprechen kann, hier dürfte eine praktische Fehlerquelle von Belang nicht liegen. Anders liegt es bei der Übereinstimmung zwischen tatsächlicher Tubusbewegung und Ablesung, sie ist in der Tat noch nicht erzielt worden, worauf ich noch zurückkommen werde.

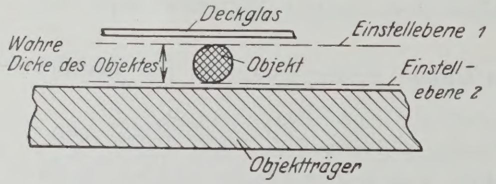


Abb. 1.

Wir haben nun in Abb. 1 das zwischen Objektträger und Deckglas liegende Objekt. Bildet das Objektiv wirklich nur, wie es theoretisch zu fordern wäre, eine einzige mathematische Ebene scharf ab, dann liegt der Fall einfach. Es wäre nur zuerst auf den höchsten, dann auf den tiefsten Punkt des Objektes einzustellen, die Differenz beider Ablesungen ist dann auch die wahre Dicke des Objektes. Dieser Fall liegt nun aber nie vor. Mag schon die Einstellung auf den höchsten Punkt leicht möglich sein, so ist es die auf den tiefsten durchaus nicht. Wir müssen dabei das Objekt in seiner ganzen Dicke mit unseren optischen Hilfsmitteln durchdringen, es lagern über dem tiefsten Punkte alle die Zwischenschichten, die eine scharfe Einstellung erschweren und das Bild verschleiern, zudem sind unsere Objekte vielfach gefärbt, was naturgemäß das Bild undeutlich machen muß, wenn das Objekt nur halbwegs in der Vertikale ausgedehnt ist. Es ist, wie wir sehen, schon die Feststellung des tiefsten Punktes sehr oft nicht ganz leicht. Manchmal wird es sich sogar

für nötig erweisen, daß man für beide Einstellungen verschieden große Blendenöffnungen wählt, vor allem dann, wenn das Objekt sehr groß und stark gefärbt ist. Auch wird man trachten müssen, bei Messungen besonders nur Deckgläser von genau der vorgeschriebenen Dicke, besonders bei starken Trockensystemen, anzuwenden, um die bekannten schädlichen Einflüsse unpassender Deckglasdicken möglichst zu beseitigen, übrigens eine Regel, gegen die, so bekannt sie ist, leider auch in anderen Fällen oft und gern gesündigt wird.

Wir wissen aber, daß die Dinge denn doch nicht so einfach liegen. Ein Objektiv bildet niemals eine Ebene, sondern eine Schicht des Objektes von wechselnder Dicke ab. Diese Schicht erstreckt sich in vertikaler Richtung um so weiter, je schwächer das Objektiv ist, ferner hat natürlich der Korrektionszustand desselben, der manchmal sogar auf eine gewisse Tiefenschärfe hin zugeschnitten wird, einen bedeutenden Einfluß. Je besser der Korrektionszustand eines Objektives ist, um so mehr wird sich die scharf abgebildete Objektschicht einer Ebene nähern, ohne aber den Idealfall jemals zu erreichen, was in der Mangelhaftigkeit unserer Hilfsmittel begründet ist. Angaben darüber, wie weit sich die Tiefenschärfe erstrecken kann, habe ich bisher noch nirgends gefunden, es dürfte sich auch sehr schwer feststellen lassen, denn sie ist nicht nur bei den verschiedenen Klassen, sondern auch bei jedem einzelnen Objektiv verschieden, wenn diese Verschiedenheit auch praktisch nicht zum Ausdruck kommen wird[1]. Wir können also sagen, daß die theoretische Einstellebene bei jedem Objektiv nach oben und unten von einer Zone überlagert ist, innerhalb welcher das Objektiv noch scharfe Bilder liefert. Es ist die Zone *a* auf Abb. 2, ich nenne sie den Betrag der Tiefenschärfe. Hierzu kommt aber noch ein Zweites. Wir sehen auf Abb. 2 den Betrag der Tiefenschärfe seinerseits wiederum überlagert von zwei weiteren Zonen, innerhalb welchen nun die Akkommodationsfähigkeit unseres Auges in Funktion tritt. Liefert das Mikroskop für sich ein scharfes Bild der Zone *a*, so strebt unser Auge, bewußt oder unbewußt deren Ausdehnung noch zu erweitern, und zwar sowohl nach oben wie nach unten. Denn beim Beobachten schalten wir hinter den einen geschlossenen optischen Apparat, das Mikroskop, einen zweiten, selbständigen, nämlich eben unser Auge, der zudem nicht, wie das Mikroskop — ich hätte fast gesagt maschinelle — Bilder liefert, sondern durch die Anpassungsfähigkeit seiner Einrichtung die Eindeutigkeit des Gesamteindrucks in weitem Maße beeinflußt. Wir erhalten also eine Gesamtzone scharfer Abbildung in der Ausdehnung *b*, sie wird bestimmt durch die Grenzen der Akkommodationsfähigkeit der Augen und ich nenne sie deshalb den Betrag der Akkommodationsfähigkeit des Auges. Für sie läßt sich ebensowenig wie für den Betrag der Tiefenschärfe ein absolutes Maß angeben, denn sie ist naturgemäß abhängig vom Zustand des Auges, also für jeden Beobachter verschieden, es spielt dessen Übung eine Rolle, sie wird ferner größer sein am Anfang einer Beobachtung, wenn die Augen noch frisch und entspannt sind, kleiner am Ende derselben, wenn Ermüdung eingetreten ist. Weiter von Einfluß ist die Lichtintensität im Instrument und dessen Umgebung, vielleicht auch dessen Farbe, sicher der Einfallwinkel desselben ins Objekt.

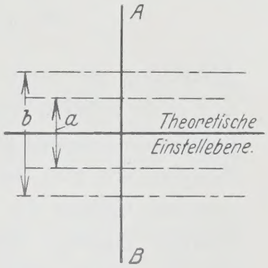



Abb. 2.
*a* Betrag der „Tiefenschärfe" des Objektives,
*b* Betrag der Akkommodationsfähigkeit des Auges.

[1] Abbe hat in einer seiner Abhandlungen einmal zahlenmäßige Angaben über Fokustiefe und Akkommodation gegeben. Diese haben aber nur rein theoretischen Wert und sind, praktisch genommen, erheblich zu niedrig.

Wir sind gewohnt, Dickenmessungen so vorzunehmen, daß zunächst auf den obersten Punkt des Objektes scharf eingestellt wird und nun die Stellung der Mikrometerschraube abgelesen wird. Dieser oberste Punkt erscheint nun nicht dann scharf, wenn er mit der theoretischen Einstellebene in einer Höhe liegt, sondern schon erheblich früher, nämlich dann, wenn er von der untersten Grenze des Betrages der Akkommodationsfähigkeit des Auges erreicht wird, welcher wiederum dem Betrag der Tiefenschärfe überlagert ist (Abb. 3). Wir erhalten also viel früher ein scharfes Bild der Objektoberfläche, als theoretisch zu erwarten ist, und zwar ist der Unterschied zwischen theoretischer und praktischer Scharfeinstellung gleich der Hälfte etwa des Betrages *b*. Es ist gar nicht möglich, etwa die theoretische Einstellebene aufzusuchen und zur Messung heranzuziehen, schon weil wir deren Lage in der Gesamtzone scharfer

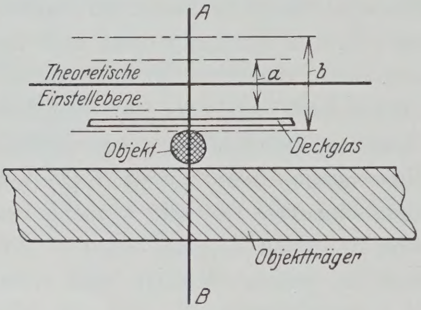


Abb. 3.

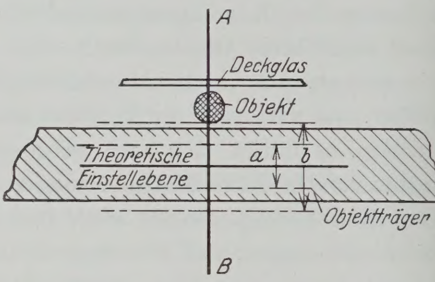


Abb. 4.

Abbildung gar nicht kennen und auffinden könnten. Wir sind vielmehr gezwungen, das erste scharfe Auftauchen des Objektes im Bild als Ausgangspunkt für die vorzunehmende Messung zu benutzen, soll der Fehler nicht eventuell noch vergrößert werden. Würden wir nun, bei Einstellung auf den tiefsten Punkt des Objektes, wiederum die unterste Grenze der Akkommodationsfähigkeit benutzen, so wäre trotzdem das Meßresultat richtig. Dies geschieht aber niemals, wir alle wissen, daß wir hierbei stets so weit mit dem Tubus herabgehen, bis das Objekt eben wieder verschwindet. Es wäre hier auch meist sehr schwierig, festzustellen, wenn die untere Akkommodationsgrenze den tiefsten Punkt des Objektes erreicht hat, denn es ist jetzt nötig, das Objekt in seiner ganzen Ausdehnung zu durchdringen, was an sich schon zu Irrtümern Anlaß geben könnte. Die Endstellung des Tubus wird also erreicht sein, wenn die oberste Grenze der Akkommodationstätigkeit des Auges den tiefsten Punkt des Objektes erreicht hat (Abb. 4), die Differenz beider Einstellungen ist nun das Resultat der Messung. Aber der wahren Dicke des Objektes entspricht das erhaltene Maß nicht.

Wenn wir nämlich uns an Hand des bisher Besprochenen überlegen, welchen Weg der Tubus zwischen beiden Einstellungen zurücklegen muß, so finden wir, daß er von der Ausgangsstellung (Abb. 3) bis zur Endstellung eine Entfernung durchmessen hat, die gleich ist dem Ausdruck:

Tiefenschärfe + Akkommodationszonen + wahre Objektdicke.

Denn der Tubus muß von der Ausgangsstellung, in der die untere Grenze der Akkommodationsfähigkeit eben die oberen Partien des Objektes erreicht, so weit gesenkt werden, bis die obere Grenze derselben die unteren Objektpartien berührt, also um den ganzen Betrag der Schärfentoleranz plus der Dicke des Objektes. Es ist demnach leicht einzusehen, daß jedes auf solchem allgemein üblichen Wege erhaltene Meßresultat falsch sein muß, und daß es um so unrichtiger sein wird,

je größer die Toleranz der Scharfabbildung ist. In Abb. 5 sind die Verhältnisse noch deutlicher gemacht.

Wir haben bisher stillschweigend angenommen, daß das Objekt durchsichtig genug ist, um eine Messung durch seine Masse hindurch zu gestatten. Ist es opak, und ist seine Grundfläche so groß, daß sie wenigstens zum Teil über seine höchste Fläche, von oben gesehen, herausragt, dann muß sich die Fehlerhaftigkeit des Meßresultates in den gleichen Grenzen bewegen. Anders ist es, wenn es etwa die Gestalt des Objektes in Abb. 6 aufweist. Dann ist die Grundfläche der Beobachtung entzogen, ein Resultat überhaupt nicht zu erreichen oder, wenn schon, dann entspricht die Messung der Distanz $c$ in Abb. 6, die sich zusammensetzt aus der oben besprochenen

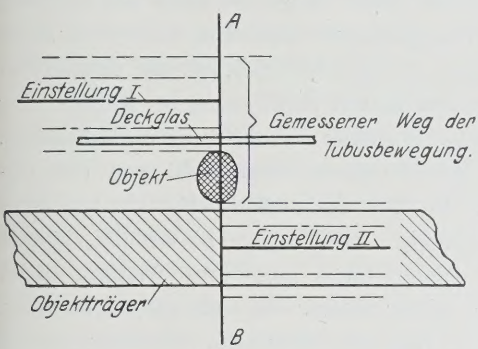


Abb. 5.

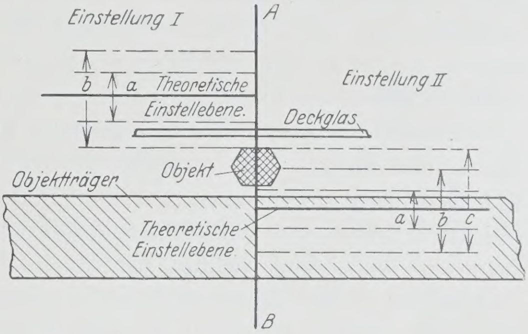


Abb. 6.

Schärfentoleranz und dem Abstand vom höchsten Objektpunkt bis zum seitlich am weitesten hervorragenden. Letzterer kann natürlich der Grundfläche ganz verschieden nahe gelagert sein, es ist demnach hier die Unsicherheit des Meßergebnisses naturgemäß noch viel größer.

Es wäre nun zunächst festzustellen, welchen zahlenmäßigen Einfluß Tiefenschärfe und Akkommodationsfähigkeit auf das Meßresultat haben, respektive welche Beträge etwa für beide einzusetzen wären. Hierzu ist zu sagen, daß das Maß der Akkommodationstätigkeit wohl in ausreichendem Maße sich überhaupt nicht bestimmen läßt. Nicht nur, daß es für jeden Beobachter, ja oft für jedes seiner beiden Augen verschieden ist, wird es auch um so größer sein, je geübter der Arbeitende ist, und je ausgeruhter das Auge ist. Dazu kommt, daß die Fähigkeit sich zu akkommodieren nur wenig dem Willen des Beobachters unterworfen ist, daß die anpassende Tätigkeit der Augenmuskulatur in der Regel sogar unwillkürlich vorzugehen pflegt. Rechnet man noch den (schon erwähnten) Umstand hinzu, daß Lichtstärke und Färbung des Objektes und seiner Umgebung sicher von Einfluß auf das Ausmaß der Akkommodationsfähigkeit sein müssen, so kommen wir ohne weiteres zu dem Ergebnis, daß sich eine sichere Meßzahl für diesen Faktor nicht finden lassen wird[1]. *Daraus ergibt sich, daß die Akkommodationsfähigkeit des Auges stets und unter allen Umständen eine nicht ausschaltbare und nicht unschädlich zu machende (weil nicht meßbare!) Fehlerquelle bei mikroskopischen Dickenmessungen darstellt.*

[1] Daß das Maß der Akkommodationsfähigkeit aber recht bedeutend sein kann, weiß jeder, der einmal mikrophotographische Aufnahmen bei gleichzeitiger Beobachtung und Einstellung des Objektes machte. Die Schärfenunterschiede zwischen visuellem und photographischem Bild können da eklatant sein, ein Faktor, den man bei solchen Arbeiten wohl beachten wolle. Der Verf.

Eher einer Feststellung ihres Einflusses auf das Meßresultat zugänglich wäre die Tiefenschärfe. Ihr Ausmaß ist im Korrektionszustand der Objektive zu finden und ließe sich vielleicht so feststellen, daß man Deckgläser von bestimmter, bekannter Dicke auf der Ober- und Unterseite mit Marken versieht (ich denke hier vor allem an feine Silberschichten, die, etwa wie die Zeiss-Abbesche Testplatte, ein System von Linien eingeritzt tragen, auf deren fein ausgezackte Ränder sich gut einstellen läßt!) und nun versucht, durch abwechselnde Einstellung der beiden Deckglasseiten und Ablesung an der Mikrometerschraube eine möglichst korrekte Meßzahl zu erhalten, die sodann mit der bekannten wirklichen Dicke des Deckglases verglichen werden kann. Man wird aber gut tun, die Scharfeinstellung nicht im Instrument selbst vorzunehmen, sondern das Objektbild auf einer möglichst nahe der hinteren Bildebene des Mikroskopes anzubringenden Planglasplatte aufzufangen, wo es dann bequem mit einer Lupe beobachtet werden kann, es geschieht dies, um die Akkommodationsfähigkeit des Auges nach Möglichkeit auszuschalten, denn sie ist bei Betrachtung einer Projektionsebene bekanntlich geringer als bei normaler Beobachtung im Mikroskop. (Es ist dies übrigens eine Aufgabe, die dem Mikroskopiker recht wohl von den Objektiverzeugern abgenommen werden könnte. So gut die anderen Konstanten eines Objektivs, Brennweite, Objektabstand, Mikrometerwert usw. angegeben werden, könnte auch eine annähernd richtige Zahl für die Tiefenschärfe eingeführt werden, deren Feststellung in den Werkstätten nicht schwer fallen dürfte. Es wäre gar nicht nötig, für jedes einzelne Objektiv die entsprechende Zahl zu ermitteln, erfahrungsgemäß sind die Verhältnisse für die einzelnen Objektivtypen ziemlich konstant. Jedenfalls dürfte es sich empfehlen, in den Katalogen usw. anzugeben, daß beispielsweise die Zeissschen Öl-Immersionen 90 mal eine Durchschnittstiefenschärfe $x$ haben, für $x$ würde ich den Ausdruck $\pm n$ vorschlagen, $n$ wäre dann der Betrag der Tiefenschärfe unter $+$ über der theoretischen Einstellebene.)

Im Gegensatz zur Akkommodationsfähigkeit ist die Tiefenschärfe unabhängig von Beleuchtungs- usw. Verhältnissen, sie ist eine feste Größe, nur bestimmt von den optischen Eigenschaften der Objektive. Es ließe sich daher ganz gut denken, daß seitens der Fabriken eine Reihe von Objektiven in den Handel gebracht werden könnten, bei deren Herstellung besondere Sorgfalt auf die größtmögliche Beseitigung der Tiefenschärfe gelegt wird und die ausschließlich Meßzwecken zu dienen hätten. Diese Objektive würden übrigens uneingeschränkt auch normalen Zwecken dienen können, es würde deren Anschaffung also dort in Frage kommen, wo regelmäßig solche Messungen auszuführen sind.

Ich habe in guter Absicht bisher eine Frage nicht berührt, deren Beantwortung der Leser wahrscheinlich hier erwartet und — selbstverständlich — für wichtig gehalten hat, nämlich wie groß denn nun eigentlich der mögliche Meßfehler ist. Abgesehen davon, daß mehrere Vorbedingungen, die die Fehlergröße bestimmen, einer genauen Bestimmung, wie wir gesehen haben, zur Zeit nicht zugänglich sind, hängt die Antwort noch von einem anderen Umstand ab, der vielleicht noch wichtiger ist und noch mehr ins Gewicht fällt, es ist folgender. Unsere Instrumente sind in der Regel mit einer Einrichtung versehen, welche gestatten soll, die Bewegung des Tubus auf 1—4 $\mu$ genau zu verfolgen, es ist meist eine Trommelteilung an der Mikrometerschraube. Noch nie aber habe ich in der Literatur eine Untersuchung darüber gefunden, ob das an der Mikrometerschraube abgelesene Maß auch mit der wirklichen Tubusverschiebung übereinstimmt. Nur eine einzige Firma (Zeiss) gibt in ihrer Liste an, daß die Ablesung an der Mikrometerschraube nur bedingt mit der wirklichen

Tubusbewegung in Einklang zu bringen ist. Es ist aber doch klar, daß eine Dickenmessung überhaupt nur dann möglich ist, wenn die Skalenangabe der Trommelteilung auch wirklich stimmt. Ich bin zur Zeit im Begriff, diese Frage zu untersuchen, da aber die Arbeit noch nicht abgeschlossen ist, kann ich hier (ich hoffe später ausführlich darüber berichten zu können) vorerst nur so viel sagen, daß eine exakte Übereinstimmung zwischen wirklicher Tubusbewegung und Skalenablesung tatsächlich nicht besteht. Alle bislang untersuchten Formen der Feinbewegung zeigen die Tendenz, die Tubusbewegung an der Skalenteilung vergrößert wiederzugeben, auch ist die Genauigkeit der Ablesung nicht an allen Stellen der Bewegung gleich. Rechnen wir die oben erwähnten Umstände hinzu, so müssen wir zu dem Ergebnis kommen, daß die Dicke eines Objektes mit den gewohnten Mitteln eigentlich überhaupt nicht exakt zu messen ist und jede Messung auf dem besprochenen Wege im besten Falle nur ziemlich rohe Näherungswerte liefern wird.

Selbst bei sehr peinlichem Arbeiten wird man nach allem zu einem Meßresultat kommen müssen, daß auf jeden Fall größer ist als die wahre Dicke des Objektes. Der Fehler ist um so größer, je stärker das das Objekt umgebende Medium das Licht bricht, je schwächer das verwendete Objektiv und je geringer seine Apertur ist. Bei starken Objektiven von hoher Apertur wird man am ehesten halbwegs richtige Resultate erwarten dürfen, um so mehr, als bei solchen optischen Hilfsmitteln auch der effektive Betrag der Akkommodationsfähigkeit der Augen geringer wird. Leider verbietet gerade bei Messungen der Dicke sich häufig die Anwendung starker Objektive.

### Zusammenfassung.

Nach Erörterung der bei mikroskopischen Dickenmessungen eine Rolle spielenden Umstände kommen wir zu dem Ergebnis, daß zur Zeit eine exakte Durchführung solcher Messungen unmöglich ist. Die Einflüsse, welche das endgültige Resultat bestimmen, sind zum großen Teil so geartet, daß es unmöglich sein dürfte, sie mit Erfolg auszuschalten. Wir sind deshalb genötigt, den Ergebnissen bei Dickenmessungen nur annähernde Richtigkeit zuzuerkennen, und es sei darauf hingewiesen, daß man stets versuchen möge, die Messung durch Vergleichsmessungen am gleichen Objekt zu ergänzen. Zahlenmäßige Angaben über die Größe der Meßfehler lassen sich noch nicht machen.

Nachschrift. Von erfahrener Seite wird mir versichert, daß es möglich sei, durch Übung die Akkommodationsfähigkeit der Augen auszuschalten. Mir selbst gelingt dies nicht, und es scheint mir auch sehr zweifelhaft zu sein; immerhin möchte ich nicht versäumen, auf diesen Umstand hinzuweisen, vielleicht hat ein Leser hierüber Erfahrungen gesammelt.

---

# Eine verkürzte Kreisbrücke mit zusätzlichen Widerständen.

Von
**Joseph Biczyk** in Warschau.

Bei der Untersuchung der Strömungspotentiale, bei welchen äußerst schwache Ströme auftreten, erwies es sich als notwendig, sämtliche Apparate in elektrostatische Gehäuse einzuschließen, um denselben konstante Kapazität zu sichern. Da die gewöhnliche Meßbrücke dazu nicht geeignet ist, wurde eine besondere verkürzte Kreisbrücke mit zusätzlichen Widerständen gebaut, die sich als sehr handlich erwies und zweckmäßig bei allen Messungen Verwendung finden kann, in denen die Apparate wegen der Kleinheit der Stromstärken elektrostatisch geschützt werden müssen.

Bei dieser Brücke wird das Längenverhältnis der beiden Brückenzweige durch Ein- bzw. Ausschaltung der entsprechend angebrachten Widerstände und durch Verschieben eines Gleitkontaktes bewirkt. Die Grundanordnung derselben ist aus Abb. 1 ersichtlich.

An die Enden eines über eine Millimeterskala gespannten, 20 cm langen Drahtes sind je 4 einander gleiche, gegenüber dem des Drahtes etwas kleinere Widerstände in Reihe geschaltet. Die einzelnen Widerstände sind miteinander mittels eiserner, mit Quecksilber gefüllter Näpfchen (*I*—*V*) verbunden. Überträgt man die Stifte *NN*, mit denen die Enden der Leitungsdrähte verbunden sind, aus den Näpfchen *I*—*I* nach *II*—*II*, *III* bis *III* usw., so wird der Widerstand des linken Brückenzweiges um denselben Betrag verringert, um den derjenige des rechten vergrößert wird, so daß der Gesamtwiderstand der Brücke nicht verändert wird. Die genauere Einstellung wird durch Verschieben des Gleitkontaktes *T* auf dem gespannten Draht *K*—*K* bewerkstelligt. Da die obengenannte Anordnung der Brücke eine möglichst große Verringerung der Abmessungen derselben zum Zwecke hatte, war es geraten, dem gespannten Draht *K*—*K* Kreisform zu geben (Abb. 2), die Widerstände ebenfalls auf einem Kreisumfange anzuordnen, und den Metallarm *R* mit dem Gleitkontakt *T*, sowie den Ebonitbalken *NN*, an dessen Enden die Klemmen für die Leitungsdrähte mit den Kontaktstiften befestigt wurden, um die gemeinsame Achse der beiden Kreise drehbar anzubringen.

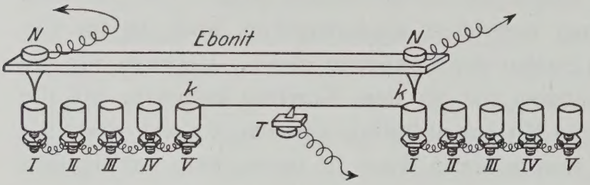



Abb. 1.

Abb. 3 gibt die Gesamtansicht der Brücke. Den wichtigsten Teil bildet die Ebonitscheibe *C*, mit dem an ihrem Umfang gespannten Draht *KK* und den im Inneren derselben angebrachten Quecksilbernäpfchen mit Widerständen (Abb. 4).

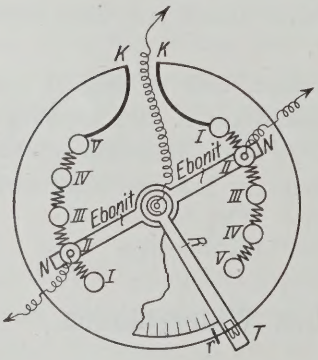



Abb. 2.

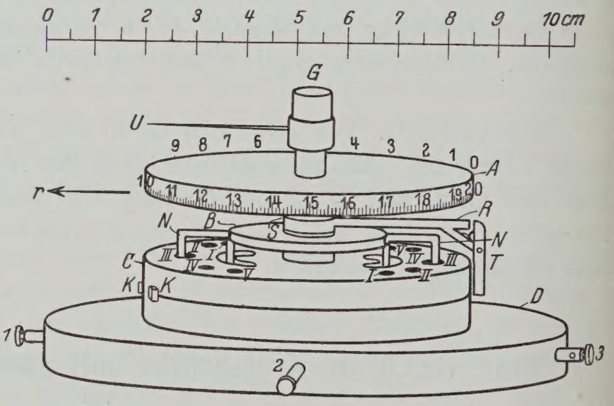



Abb. 3. Gesamtansicht der Brücke.

Die Lage des Gleitkontaktes *T* wird in bezug auf die auf dem unbeweglichen Deckel des (nicht gezeichneten) Brückengehäuses angebrachte Marke *r* an der Teilung abgelesen, welche die mit dem Arme *R* starr verbundene Ebonitscheibe *A* trägt. Der Metallarm *R* ist starr mit der Metallachse *S* verbunden, welche mittelst des spiralig gewundenen Blechstreifens *m* (Abb. 4) mit der Klemme *2* (Abb. 3) leitend verbunden ist.

Das Ein- bzw. Ausschalten der gewünschten Widerstände wird dadurch bewirkt, daß man durch Drehen und Senken des Ebonitplättchens $P_1$—$P_3$ mittelst des Griffes *G*, der mit dem Plättchen durch den starren Draht *G*—*l* verbunden ist (Abb. 4), die an dessen Enden befestigten hakenförmig gebogenen Kontaktstifte *NN* in die entsprechenden Quecksilbernäpfchen taucht. Die Stifte sind durch genügend lange biegsame Leitungsdrähte mit den Klemmen *1* und *3* (Abb. 3) verbunden. (In Abb. 2 sind die Näpfchen *II*—*II*, in Abb. 3 *III*—*III* eingeschaltet.) Die Lage der Tauchkontakte gibt der Zeiger *U* an einer auf dem Deckel der Metallbüchse, die als elektrostatische Hülle für die Brücke dient, befindlichen Teilung an.

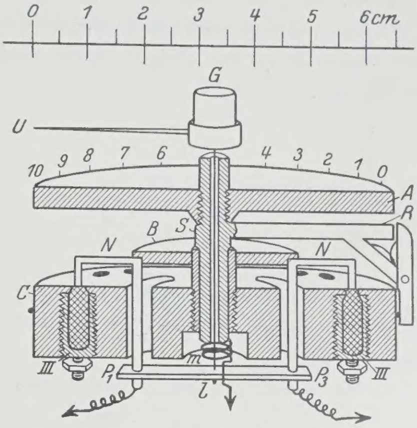



Abb. 4. Schnitt durch die Brücke.

*A* Ebonitscheibe mit Millimeterteilung,
*B* Ebonitscheibe, welche die Kontaktstifte *N*—*N* zusammenhält.
*C* Ebonitscheibe mit an deren Umfang gespanntem Drahte und mit Quecksilbernäpfchen (in der Ebene des Schnittes *III* und *III*) mit Widerständen,
*T* Gleitkontakt,
*R* Arm des Gleitkontaktes.
*G* Ebonitgriff zum Bewegen der Tauchkontakte *N*—*N*
*U* dessen Zeiger,
$P_1$—$P_3$ Ebonitplättchen.
*m* spiralförmig gewundener Blechstreifen, der den Gleitkontakt mit der Klemme *2* (Abb. 3) verbindet.

Der effektive Gesamtwiderstand der Brücke betrug in unserem Falle etwa 35 $\Omega$.

Die Brücke wurde durch Vergleich mit einer gewöhnlichen nach der Methode der wandernden Drahtstücke (Strouhal und Barus) kalibrierten Meßbrücke geeicht.

Ich möchte auch hier meinen herzlichen Dank Herrn Prof. Dr. H. Lachs aussprechen, unter dessen Leitung diese Arbeit ausgeführt wurde.

Warschau, Labor. f. Kolloidchemie d. Ges. d. Wissensch. und Labor. f. physik. Chem. d. Freien Univers. Polens.

---

## Berichte.

### Ein Viskosimeter für kleine Flüssigkeitsmengen nach E. Madelung.

Aus Mitteilungen der E. Leybolds Nachf. A.-G. in Köln-Bayental/Berlin. Jan. 1930.

Wenn man die Viskosität von Flüssigkeiten bestimmen will, die nur in geringen Mengen vorliegen, so versagen die üblichen Durchströmungsmethoden. Besonders machen sich, wenn man die Dimensionen der Apparate verkleinert, Kapillarkräfte störend geltend.

Man ist dann auf eine Methode angewiesen, bei der keinerlei freie bewegte Flüssigkeitsoberflächen vorkommen. Als solche kommt in Betracht die Beobachtung der Geschwindigkeit des Sinkens oder Steigens eines Fallkörpers oder Schwimmers in der Flüssigkeit. Bei geringen Flüssigkeitsmengen muß man als Flüssigkeitsbehälter ein enges Rohr nehmen; dann ist es fast unmöglich, Wandberührung des Probekörpers zu vermeiden, und eine genaue Messung ist daher praktisch ausgeschlossen. Der im folgenden beschriebene Apparat benützt nun den Gedanken, durch Rotation einen Schwimmer in einem die Flüssigkeit enthaltenden Rohr zu zentrieren und dadurch jede Wandberührung zu verhindern.

Der Apparat (D. R. P. angem.) enthält als Hauptteil ein etwa 1 mm weites und 6 cm langes Glasrohr, in dem sich 50—80 mm³ der zu untersuchenden Flüssigkeit, sowie ein 2 cm langer, 0,3 mm dicker Schwimmer aus Glas befinden. Das Glasrohr ist in die Achse eines Motors eingebaut. Bei Rotation löst sich der Schwimmer von der Wand des Rohres und kann sich nun frei in dessen Längsrichtung bewegen. Ist daher das Glasrohr gegen die Horizontale geneigt, so steigt der Schwim-

empor. Die Steigzeit $T$ wird zwischen 2 Marken mit Stoppuhr gemessen. Die treibende Kraft ist proportional *1)* zum Sinus der Neigung $\alpha$, *2)* zur Differenz des spezifischen Gewichtes der Flüssigkeit $s$ gegen das mittlere spezifische Gewicht des Schwimmers $s_0$; der Reibungswiderstand ist proportional der Viskosität $\eta$. Im übrigen gehen noch die unveränderlichen geometrischen Dimensionen ein, so daß gilt:

$$T = \frac{k\,\eta}{s - s_0},$$

wo $k$ eine Apparatkonstante ist.

$$(k = \frac{k'}{\sin\alpha}).$$

Die Benutzung erfordert also eine Eichung zur Bestimmung der Konstanten $k$ und $s_0$. $s$ muß getrennt gemessen werden nach bekannten Methoden. Die Eichung geschieht praktisch folgendermaßen:

Man bestimme für 2 Flüssigkeiten, deren $\eta$ und $s$ bekannt sind, die Zeiten $T$. Dann kann man $k$ und $s_0$ ausrechnen aus den zwei resultierenden Gleichungen mit 2 Unbekannten. (Als Eichflüssigkeiten sind zu empfehlen: Wasser $s = 1$, $\eta_{20^0} = 0{,}01002$; Aceton $s = 0{,}7970$, $\eta_{20^0} = 0{,}003225$, Nitrobenzol $s = 1{,}2116$, $\eta_{25^0} = 0{,}01834$.) Bequemer verwendet man folgenden graphischen Weg (Abb. 1). Man trage $s$ als Abszisse und $\frac{\eta}{T}$ als Ordinate auf. Für die Eichflüssigkeiten trage man die durch Messung erhaltenen Werte ein und verbinde die erhaltenen Punkte *1* und *2* durch eine Gerade. Diese trifft dann die Abszissenachse in $s = s_0$. $k$ kann man entnehmen aus dem Winkel $\varphi$ dieser Geraden gegen die Achse aus:

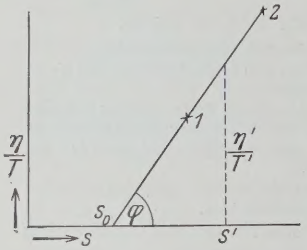


Abb. 1.

$$k = \operatorname{ctg}\,\varphi.$$

Es ist aber nicht nötig, diese Zahlen wirklich zu berechnen. Einfacher ist es, man entnimmt der Zeichnung für eine zu messende Substanz vom spezifischen Gewicht $s'$ das dazugehörige $\frac{\eta'}{T'}$, mißt jetzt $T'$ im Apparat und findet durch Multiplikation $\eta'$.

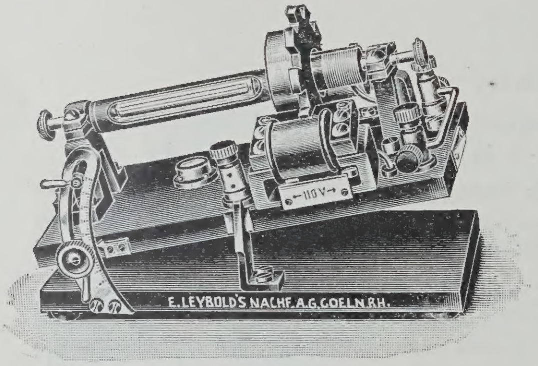


Abb. 2. Ansicht des Viskosimeters.

Die endgültige Ausführung des Viskosimeters zeigt Abb. 2. Als Antrieb ist ein Synchronmotor gewählt, der mit 110 oder 220 V Wechselstrom läuft. Er ist nach dem Prinzip eines „phonischen Rades“ gebaut und enthält zur Dämpfung der Pendelung statt der üblichen mit Quecksilber gefüllten Trommel ein freilaufendes Kugellager, dessen innere Reibung die Dämpfung liefert. Die Umdrehung wird mit der Hand angeworfen.

Das Ganze ist auf eine Art Wippe angeordnet, deren Neigung durch verstellbare Anschläge einstellbar ist.

Je nach der zu messenden Flüssigkeit empfiehlt es sich, das Glasrohr einseitig oder auf beiden Seiten durch Gummiplättchen zu schließen. Vielfach ist ein solcher Verschluß unnötig.

Die Schwimmer sind leicht herstellbar. Man zieht ein möglichst dünnwandiges Glasrohr zu einer Kapillare aus, bricht ein Stückchen von geeigneter Länge heraus und schmilzt dieses durch Eintauchen in den Saum einer kleinen Flamme auf beiden Seiten zu. Brauchbar ist ein Schwimmer, wenn er in Äther noch schwimmt. Natürlich gelingt das nicht immer. Oft wird beim Zuschmelzen ein zu dicker Tropfen an den Enden gebildet, dann wird der Schwimmer zu schwer. Oft ist er nicht vollständig geschlossen oder hat einen Sprung. Dann dringt die Flüssigkeit ein und er sinkt. Bei der Herstellung verwendet man am besten eine Brillenlupe.

Es muß betont werden, daß den Vorzügen des Apparates:

1. geringer Stoffbedarf,
2. schnelle und beliebig sofort wiederholbare Messung,
3. leichte Auswertung

der Nachteil gegenübersteht, daß es sich nicht um eine Präzisionsmessung im Sinne des Physikers handelt. Die erreichbare absolute Genauigkeit ist ca. 1 %, die relative natürlich größer. Es bleiben aber gewisse Fehler, die schwer zu fassen sind. Sie sind für die meisten Fälle der Praxis ohne Bedeutung aber doch von theoretischem Interesse:

1. Die Lage des Schwimmers ist bei verschiedenen Flüssigkeiten, Neigungen, Rotationsgeschwindigkeiten nicht genau dieselbe. Sie zentrieren sich um so besser, je kleiner $s - s_0$ ist, ferner je größer $\eta$ und je kleiner die Differenz von Rohrweite und Schwimmerdurchmesser ist.

2. Bei großer Winkelgeschwindigkeit treten infolge von Corioliskräften in der Flüssigkeit Einflüsse auf, die das einfache angenommene Gesetz der Flüssigkeitsreibung etwas ändern. Diese sind um so kleiner, je enger das Rohr ist. Die gewählten Abmessungen sind so, daß diese Fehler in erträglichen Grenzen bleiben.

## Die Struktur des Windes.

*Von* W. Schmidt, *Wiener Sitzungsber. Abt. IIa* ***138***. *S. 85—116. 1929.*

Die scharfe und umfassende Kennzeichnung der Strömung der Luft als Wind nach Richtung und Geschwindigkeit setzt genaue Kenntnis des entweder laminaren oder turbulenten Strömungscharakters, d. h. der Struktur des Windes voraus. Hierzu untersucht der Verf. in erster Linie die Schwankungen der Windgeschwindigkeit in der Strömungsrichtung, die man bisher durch die Bezeichnung „Böigkeit" kennzeichnete. Die bisher bekannten einfachen Böigkeitsregistriergeräte geben die wahre Windstruktur deshalb stark verfälscht an, weil sie bei bester Ausführung Schwankungen, deren Dauer weniger als 20 s beträgt, nicht mehr aufzeichnen. Andere Geräte sind zu verwickelt und außerdem schwierig zu bedienen; sämtlich gestatten sie Messungen nur an einem Punkt.

Verf. sucht aber von vornherein an vielen Punkten gleichzeitig und mit einfachen Mitteln zu messen und entwickelt dazu die folgende, in Kürze beschriebene Methode:

Als empfindliches Meßorgan verwendet er leichte Druckplatten. Die Druckplatte besteht aus einem Drahtring von 20 cm Durchmesser, der an zwei in der Ringebene laufenden gegeneinander verstrebten Drähten befestigt ist, die ihrerseits mit einer horizontal liegenden Achse starr verbunden sind. Der Abstand zwischen Achse und Plattenmitte beläuft sich auf 50 cm. Der Reif wurde mit feinem Tüllgewebe überzogen, das einen Teil der Strömung durchließ, damit Wirbelbildung verhinderte und eine günstige Dämpfung bedingte. Die erste Ausführung wog 11 g. Eine für stärkere Winde ausgeführte Druckplatte, die auch doppelt bespannt wurde, wog 45 g. Die Eichung der Druckplatten wurde so vorgenommen, daß die Platten meßbar gegen ruhende Luft bewegt wurden, wobei eine Eichkurve gewonnen wurde. Es zeigte sich, daß gleichartige Druckplatten innerhalb der Meßgenauigkeit gut übereinstimmende Eichkurven ergaben. Außerdem wurden beide Plattentypen in der Aerodynamischen Versuchsanstalt in Göttingen geprüft und noch eine eigene Prüfung bei feststehender Drehachse in dem durch einen größeren Ventilator erzeugten stärkeren Luftstrom vorgenommen. Letztere Prüfungsart erwies die besondere Eignung der halbdurchlässigen Bespannung. Die Untersuchung über die Trägheit der Platten — leichtere Platte — ergab mit einem Dämpfungsverhältnis zwischen 1:3 und 1:4 recht befriedigende Werte. Bei plötzlicher Änderung der Windgeschwindigkeit betrug die Reaktionszeit weniger als eine Sekunde. Um die Struktur des Windes über einen größeren Querschnitt zu ermitteln, wurden eine Mehrzahl von Druckplatten auf verschiedene Weise mit wagrechter Achsenlage in diesem Querschnitt aufgehängt. Ihre Stellung wurde dann kinematographisch aufgenommen, wodurch genau gleichzeitige Beobachtungen gewährleistet waren. Zur schärferen Kennzeichnung wurden die Plattenbespannungen bis auf ein nach unten keilförmig verlaufendes Flächenstück geschwärzt; ähnlich wurde die Lage der Achsen auf je einer seitlich angebrachten Scheibe markiert. Als Aufnahmegeschwindigkeit reichte meist die geringe Bildgeschwindigkeit von 5—7 Bilder in der Sekunde aus. Im Interesse deutlicher Bilder wurde meist schräg von vorn aufgenommen. Die Auswertung der Aufnahmen setzt selbstverständlich genaue Kenntnis der Lage des Aufnahme-

apparates zu den Druckplatten voraus, die durch Messung ermittelt wurde. Als sehr zweckmäßig für die Auswertungsarbeit erwies es sich, einen vom Negativ hergestellten Positivfilm bildweise auf eine wagrechte Tischplatte zu projizieren. Die Rechenarbeit wurde wesentlich durch einen besonderen Rechenschieber erleichtert. Die schließlich erlangten Einzelwerte ergaben sich als bis auf einige Zentimeter sicher. Um das umfangreiche Beobachtungsmaterial, das anfiel, überblicken und damit die Windstruktur erst erfassen zu können, stellte der Verf. die für je einen Moment gewonnenen Windgeschwindigkeiten in Isoplethenform dar, derart, daß er eine dem durch die Druckplatten abgetasteten Querschnitt entsprechende Papierfläche nach Gebieten gleicher Geschwindigkeitsstufe schraffierte und die verschiedenen Schraffuren scharf gegeneinander abgrenzte. Aus einer Folge derartiger Darstellungen läßt sich ein ausgezeichneter Überblick über den Windcharakter gewinnen. Werden durch die Einzeldarstellungen für einen Querschnitt horizontale und vertikale Schnitte gelegt, so kann man den zeitlichen Verlauf der untersuchten Vorgänge in einer weiteren Isoplethendarstellung deutlicher erfassen.

Wie die mitgeteilten Ergebnisse erkennen lassen, haben die methodisch neue Wege weisenden Untersuchungen des Verf., auf deren Einzelheiten einzugehen den Rahmen dieser Zeitschrift überschreiten würde, zu einem Abschluß geführt, der zu der Erwartung berechtigt, daß die weitere Anwendung der angegebenen Verfahren die Kenntnis der Struktur des Windes wirksam fördern wird.

*W. Keil.*

## Brechungszahlen-Messung am Prisma und gewisse goniometrische Erfordernisse aus Gründen der Genauigkeit.

*(Prism refractometry and certain goniometrical requirements for precision.)*

*Von* L. W. Tilton. *Bur. of Stand. Journ. Research* **2.** *S. 909—930. 1929. Pap. No. 64.*

I. Einleitung: Glastechnische Fragen als Anlaß der vorliegenden Untersuchungen. Zielsetzung.

II. Kritische Betrachtungen zur sechsstelligen Bestimmung der Brechungszahlen am Prisma: Seit den Fraunhoferschen Untersuchungen ist nur ein erstaunlich geringer Gewinn an Genauigkeit der absoluten Messungen des Brechungsindex zu buchen. Fraunhofer gab die Brechungszahlen mit 6 Dezimalen an, jedoch zeigten die 5. Dezimalen systematische Fehler zwischen + 3 und — 5 Einheiten dieser Stelle. Immerhin ist die Genauigkeit schon erheblich hoch, wenn man bedenkt, daß über 100 Jahre seitdem verflossen sind. Man pflegt jetzt die erreichbare Genauigkeit mit rund 1 Einheit der 5. Dezimale anzunehmen, was aber nach Ansicht des Verfassers irrig ist. Vielmehr ist an Genauigkeit noch zu gewinnen, da es sehr wahrscheinlich ist, daß gewisse systematische Fehler in der Ablenkungsmessung bisher nicht beachtet wurden, die aber vermeidbar sind, wie z. B. inkonstante mechanische Spannungen im Meßinstrument.

III. Methodisches: Die verschiedenen bekannten Methoden der Brechungszahlen-Messung am Prisma sind:

1. die klassische Newton-Fraunhoferschen Methode der Minimalablenkung;
2. die Methode des streifenden Eintritts nach Euler-Kohlrausch;
3. die Methode des in sich zurückkehrenden Strahls nach Abbe.

Die genaueste dieser drei Methoden ist die zuerst genannte der Minimalablenkung. Die Methode 2 ist jedoch dadurch ausgezeichnet, daß bei kleinen brechenden Prismenwinkeln ($< 65^0$ bei $n = 1,3$ und $< 30^0$ bei $n = 1,9$) die Toleranzen der Ablenkungsmessungen tatsächlich größer sind als bei der Methode 1; jedoch bevorzugt man immer diese letzte Methode, weil die Berechnung des Brechungsindex aus den gemessenen Winkeln einfacher ist und weil die Einstellungen günstiger liegen als bei der asymmetrischen Methode 2. Die Toleranzen in der Messung des brechenden Winkels bei der Abbeschen Methode sind nur $^1/_2$ bis $^1/_5$ der entsprechenden Toleranzen bei der Methode der Minimalablenkung, und auch beim Ablenkungswinkel ist das Verhältnis 1 : 2. Zusammenfassend läßt sich daher sagen, daß die Methode der Minimalablenkung mindestens 4 mal genauer arbeitet als die Abbesche Methode. Temperaturkonstanz ist sehr wichtig, und man unterstellt am besten sowohl den Spektrometerraum als auch das Prismengehäuse einer strengen Temperaturkontrolle.

IV. Toleranzen in Winkelmessungen: Bei der Methode der Minimalablenkung wird der Brechungsindex $n$ aus dem brechenden Prismenwinkel $A$ und dem Ablenkungswinkel $D$ berechnet nach der Formel:

$$n = \frac{\sin \frac{A+D}{2}}{\sin \frac{A}{2}}.$$

Die Einwirkung von Meßfehlern in $A$ und $D$ gehen aus den partiellen Differentialen hervor:

$$\frac{\partial n}{\partial A} = -\frac{\sin \frac{D}{2}}{2 \cdot \sin^2 \frac{A}{2}}; \qquad \frac{\partial n}{\partial D} = +\frac{n}{2 \cdot \operatorname{tg} \frac{A+D}{2}}.$$

Für eine Genauigkeit von $dn = \pm\ 1 \cdot 10^{-6}$ ergeben sich alsdann folgende Winkeltoleranzen:

$$T_A = \pm\ 0{,}4125 \frac{\sin^2 \frac{A}{2}}{\sin \frac{D}{2}} \text{ s},$$

$$T_{2D} = \pm\ 0{,}8251 \frac{\operatorname{tg} \frac{A+D}{2}}{n} \text{ s}.$$

Aus diesen Gleichungen lassen sich Kurven gleicher Toleranzbeträge berechnen und in Koordinatensystemen einzeichnen, auf deren Achse die brechenden Prismenwinkel und die Brechungszahlen aufgetragen sind. Aus diesen Kurvenscharen lassen sich die Beträge $T_A$ und $T_{2D}$ mit einem Blick ablesen, wenn man einen bestimmten brechenden Winkel und eine bestimmte Brechungszahl zugrunde legt. Der günstigste Prismenwinkel ist $A = 2 \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{1}{n}$; dieser Bedingung entspricht die Ablenkung $D = 2 \operatorname{arc} \cos \frac{2n}{n^2+1}$. Der Toleranzbetrag des Ablenkungswinkels folgt hieraus zu $T_{2D} = \pm\ 0{,}825$ s. Dieser Toleranzbetrag im doppelten Ablenkungswinkel ist für alle Medien äquivalent einem Fehler von 1 Einheit der 6. Dezimale der Brechungszahl, vorausgesetzt, daß der brechende Winkel den optimalen Wert hat. Die ausschließliche Benutzung gleichseitiger Prismen und die hiermit verbundene dreifache Messung der Ablenkungswinkel ist weder wünschenswert noch praktisch.

Die Messung der Brechungszahlen von Flüssigkeiten niedrigerer Brechung im Hohlprisma erfolgt vorteilhafter mit merklich größeren Winkeln als 60°.

V. Mehrfache Mikroskopablesung zwecks minimaler Kreisfehler: Teilkreisfehler sind von grundlegender Bedeutung. Auf Exzentrizitätsfehler wird nur kurz hingewiesen, weil sich diese durch Ablesung an diametral gegenüberliegenden Stellen des Kreises in bekannter Weise eliminieren lassen. Gefährlicher sind Stellungsfehler der Teilkreismarken selbst, die periodisch (systematisch) oder akzidentell (irregulär) sein können und auf keine Art vermeidbar sind. Wenn die Meßgenauigkeit von der Größenordnung 1 Bogensekunde ist, empfiehlt es sich, den Kreis zu kalibrieren. Häufig jedoch werden nur für verhältnismäßig wenige der zahlreichen Teilstriche Korrektionskurven ermittelt, die dann aber nur die periodischen Fehler niederer Frequenz erfassen. Es ist daher noch notwendig, seine Zuflucht zu Wiederholungsmessungen an verschiedenen Teilen des Kreises zu nehmen, um dadurch auch die akzidentellen Fehler und die periodischen Fehler höherer Frequenz auszuschalten. Es läßt sich aber auch durch Verwendung mehrerer Beobachtungsmikroskope an verschiedenen Stellen des Teilkreises erhöhte Genauigkeit erzielen. Die Anzahl $m$ der Ablesemikroskope steht in Beziehung zur Anzahl $r$ der notwendigen Wiederholungen. Mit vier Mikroskopen ist jede Messung eines 90°-Prismenwinkels gänzlich frei von Teilkreisfehlern. Nach jeder Drehung um einen Quadranten sind die benutzten Marken dieselben vier wie zu Anfang, und der Kreis ist gleichwertig einem vollkommenen Quadranten. Allgemein wird der Kreis gleichwertig einem vollkommenen Bogen von $\frac{360^0}{m}$, und die Beziehung $r = x \cdot \frac{360}{mA}$ gibt

die Bedingung für fehlerfreie Messung eines Winkels von $A^0$. Die Skala muß zwischen den Messungen um den Winkel $\frac{360^0}{mr}$ gedreht werden, und $x$ ist die erforderliche Zahl der Drehungen über dem Vollkreis. Um noch Gradunterteilungsfehler zu eliminieren, werden die Mikroskope nicht in gleichen Abständen belassen, sondern um Bruchteile eines Grades, aber nicht mehr als um $\frac{N}{2d}$ ($N$ = Anzahl der Mikroskope, $d$ = Anzahl der Unterteilungen eines Grades) herausgerückt.

VI. Mikrometerfehler: Trommelfehler der Mikrometer werden ausreichend berücksichtigt, wenn man die eine Hälfte der Messungen mit positiven, und die andere Hälfte mit negativen Trommeleinstellungen vornimmt. Richtet man sich nach diesen Vorschriften, so ist die Benutzung eines unkalibrierten Kreises besonders fehlerfrei.

VII. Inkonstante mechanische Restspannungen im Instrument: Von nicht zu unterschätzender Bedeutung ist eine gute Gleichgewichtserhaltung aller beweglichen Teile des Spektrometers. Aber auch die verbleibenden horizontalen Komponenten der Spannungen müssen in dem Augenblick vernichtet sein, wenn eine Einstellung vorgenommen wird, damit ein auch noch so geringes Nachkriechen vermieden wird. Der Verfasser konnte auf diese Ursache einen systematischen Fehler von 0,5 s bei der Prismenwinkelbestimmung zurückführen. Um solche Fehler zu eliminieren, muß man sich genau an eine einheitliche Handhabung aller mechanischen Teile nach einem planmäßig vorbereiteten Beobachtungsprogramm gewöhnen. *Flügge.*

## Relative Sichtbarkeit der Lichtblitze von Neonlampen und von Glühlampen mit und ohne Rotfilter.

(*Relative visibility of luminous flashes from neon lamps and from incandescent lamps with and without red filters.*)

*Von* F. Chapin Breckenridge und J. E. Nolan. *Bur. of Stand. Journ. Research* **3.** *S. 11—25. 1929. Pap. No. 78.*

Es ist sehr weit die Ansicht verbreitet, daß das Licht der Neonlampe besonders gut Nebel durchdringt, aber eine beweiskräftige Stütze für diese Annahme gibt es nicht. An Gegenstimmen hat es auch nicht gefehlt. Um nun Klarheit in die Verworrenheit der Ansichten zu bringen, unternehmen es die Verfasser, Mitglieder des Bureau of Standards, diese Fragen durch gründliche Experimente zu klären. Die Fragestellung war, ob unter kontrollierbaren Bedingungen das Licht einer Neonlampe in größeren Entfernungen sichtbar wird oder bleibt, als das Licht einer Glühlampe mit einem Farbenfilter, wenn Farbe, Form und Helligkeit der Lichtquelle, die räumliche Intensitätsverteilung im Lichtbündel und die Witterungsbedingung in beiden Fällen dieselben sind. Weiterhin gebot das Interesse, auch die Wirkung des Farbenfilters auf die Sichtbarkeit eines Lichtbündels zu bestimmen. Es wurde die Methode angewandt, Blitzsignale von einem Versuchsleuchtfeuer aus verschiedenen Entfernungen und unter verschiedenen Witterungsbedingungen zu beobachten. Fast alle Beobachtungen wurden bei Nacht gemacht.

Das Versuchsleuchtfeuer war so konstruiert, daß drei rotierende Lichtbündel erzeugt wurden, die im Folgenden kurz als Neonbündel, Rotbündel und Hellbündel bezeichnet werden sollen. Besondere Aufmerksamkeit wurde dem Umstand zugewendet, daß die drei Lichtbündel ähnliche Helligkeitsverteilung besitzen. Der leuchtende Teil der Neonlampe bestand in einem Rohr von 2,5 cm Durchmesser und 47 cm Länge, von welchem aber nur eine Fläche von 15 mm Durchmesser ausgenutzt wurde. Die maximale Lichtstärke des Neonbündels und des Rotbündels betrug 175 bis 190 Kerzen. Das Hellbündel, welches gleichzeitig dazu dienen sollte, die beiden roten Lichtblitze ihrem Herkommen nach zu unterscheiden, hatte eine Lichtstärke von ungefähr 730 Kerzen. Das Leuchtfeuer rotierte 7 mal in der Minute, gab Blitze in Abständen von ungefähr 3 s, und jeder Lichtblitz hatte eine schätzungsweise Dauer von 0,2 s. Die Lichtstärke der Neonlampe wurde durch Strommessung beständig kontrolliert.

Das Rotbündel wurde durch eine Glühlampe erzeugt, vor welcher ein Rotglasfilter, *Corning „lighthouse red“ glass,* geschaltet war. Sämtliche Lampen wurden auf gleiche Farbtemperatur und Intensität gebracht. Die Beobachtungen erfolgten bei verschiedenen Witterungsverhältnissen, die

bezeichnet werden als: klar, dunstig, regnerisch, neblig. Die Beobachtungsentfernungen betrugen zwischen 1910 und 7000 m. Um eine photometrische Auswertung zu erzielen, wurde ein Photometerkeil benutzt und diejenige Einstellung des Keils ermittelt, bei welcher jeder der Blitze gerade regelmäßig gesehen werden konnte. Besondere Beachtung wurde den Selektivitätseigenschaften des Keils gewidmet. Die Ergebnisse lassen sich folgendermaßen zusammenfassen: Es besteht kein so großer Unterschied zwischen der Sichtbarkeit des Neonbündels und des Rotbündels, um durch diese Prüfung mit Sicherheit nachgewiesen werden zu können. Die Zufügung des Rotfilters vergrößert nicht die Sichtweite eines Hellbündels, ganz gleich unter welchen Witterungsbedingungen. Es wurde jedoch bemerkt, daß die roten und die Neonblitze im allgemeinen unter den Küstenfeuern (die Beobachtungen erfolgten in einer Meeresbucht) leichter zu finden waren. In erster Linie müssen wir eine Neonlampe haben, welche eine so große Helligkeit besitzt, daß unhandliche Reflektoren vermieden weiden können. Zweitens muß die Lampe zuverlässig und nicht teuer sein. Erst unter diesen Bedingungen darf man wirklich sagen, daß die Neonlampe vor der gewöhnlichen Glühlampe mit Rotfilter Vorzüge besitzt. Es ist wahrscheinlich, daß in Gegenden, wo Luftfahrt-Leuchtfeuer gegen einen mit anderen Lichtern besetzten Untergrund gesehen werden müssen, der Sichtverlust durch Benutzung eines Rotfilters mehr als aufgewogen wird durch die größere Leichtigkeit, mit welcher die roten Blitze wahrgenommen werden können. *Flügge.*

## Über die Herstellung und Verwendung von Luftbildplänen.

*Von* H. Löschner. *HDI-Mitteil. d. Hauptvereins deutscher Ingenieure in der tschechoslowakischen Republik. Jahrg. 1929.* S. A.

Der hier interessierende Teil gibt eine gute Übersicht über die Aufnahme und die Entzerrung der zur Herstellung von Luftbildplänen eines Geländes mit geringen Höhenunterschieden erforderlichen Meßbilder. Es werden dabei die wichtigsten Aufnahmeinstrumente — einfache und Reihenbildmeßkammern — sowie Entzerrungsinstrumente beschrieben. Im Zusammenhang mit der Aufnahme der Bilder werden Angaben über die Anordnung der Flüge gemacht.

Das Ganze ist klar und übersichtlich geschrieben, und stellt so eine gute Einführung in den behandelten Teil der Luftphotogrammetrie vor. *P. W.*

## Zur Theorie photogrammetrischer Auswertegeräte.

*Von* P. Gast. *Allgem. Vermess. Nachr.* ***41*** *S. 257. 1929.*

Bei den für beliebig liegende Bilder bestimmten Zweibild-Auswertungsinstrumenten werden die gesuchten Punkte je durch räumliches Vorwärtseinschneiden mit Hilfe des aus einem Bildpaar sich ergebenden Raumbildes festgelegt; für den dieses Vorwärtseinschneiden zum Ausdruck bringenden Teil der Auswertungsinstrumente schlägt der Verfasser die Bezeichnung „Einschneidegestänge“ vor. In Anlehnung an den Bau des Aerokartographen von R. Hugershoff hat der Verfasser nach seinen Angaben ein sehr lehrreiches Vorführungsgerät für ein solches Einschneidegestänge bauen lassen, das er beschreibt. Am Schluß wird gezeigt, wie aus dem Vorführungsgerät des Einschneidegestänges ein photogrammetrisches Auswertungsinstrument entsteht. *P. W.*

## Über einen Apparat zur Bestimmung der thermischen Ausdehnung fester Körper bei hohen Temperaturen.

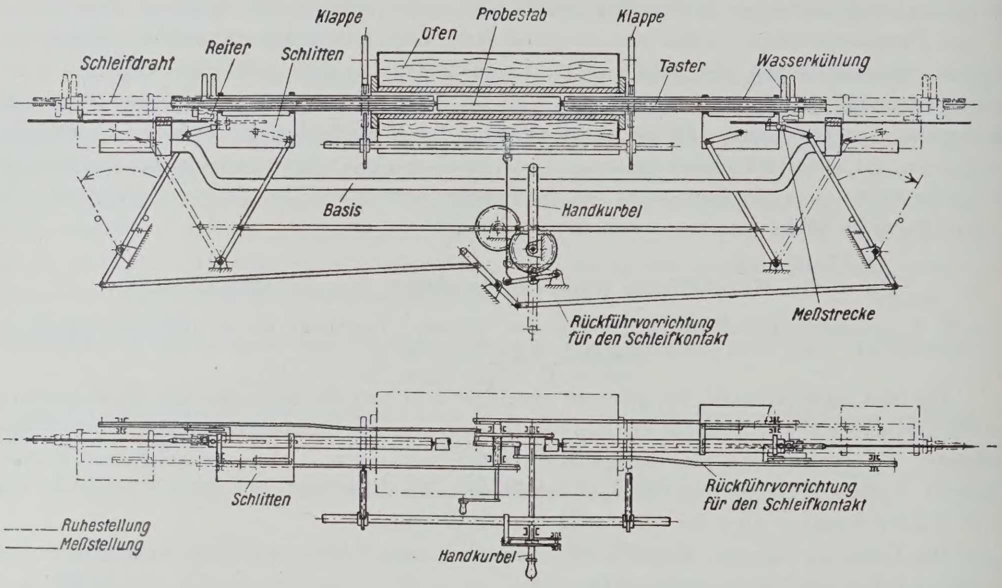
*Von* H. Gerdien und W. Jubitz. *Zeitschr. f. techn. Physik 10. S. 614—620. 1930.*

Das Arbeiten im Gebiet hoher Temperaturen setzt Kenntnis der thermischen Eigenschaften der zur Verwendung gelangenden Werkstoffe voraus, insbesondere die der Wärmeausdehnung. Für hohe Temperaturen lagen bisher Untersuchungen über diese dringlichen Fragen nicht vor. In der vorliegenden Arbeit berichten die Verf., die seit längerer Zeit die thermische Ausdehnung studiert haben, über eine Apparatur, die für Messungen der Längsausdehnung bis in das Gebiet oberhalb der Erweichungstemperaturen der bekannten feuerfesten Massen bestimmt ist.

Zur Vermeidung der Schwierigkeiten, die eine längere Dauer der Berührung des auf hoher Temperatur befindlichen Prüfstabes mit dem Tastorgan bedingen, erwies es sich als notwendig,

letzteres leicht beweglich anzuordnen, damit es zur Herabsetzung des Wärmeüberganges nur ganz kurze Zeit mit dem Prüfstab in Berührung steht.

Der Aufbau der Apparatur geht aus der Abb., die das vollständige Gerät in Grund- und Aufriß darstellt, hervor. In dem beiderseits durch Klappen thermisch isoliert verschließbaren, rohrförmigen Ofen ist der etwa 200 mm lange, zweckmäßig nur in seiner Mitte unterstützte, Prüfstab angeordnet. Die Bewegung der Verschlußklappen ist mit der der Tastorgane so gekoppelt, daß erstere erst kurz vor dem Einführen letzterer in den Ofen diesen zum Abtasten des Prüfstabes freigeben und ihn nach Beendigung des Tastens wieder verschließen. Als Taster, rechts und links, werden Röhren aus Invar verwendet, deren Tastseite je mit einer abgerundeten Kuppe aus gleichem Material




abgeschlossen ist. Die Invarröhren sind von Kühlhülsen aus Messing, durch die Wasser geleitet wird, fast in ihrer ganzen Länge umschlossen und gegen diese derart verschiebbar, daß ihre Meßenden in die Kühlhülsen hineingezogen werden können. Damit Probestücke verschiedener Länge verwendet werden können, sind die Hülsen in der Längsrichtung schlittengeführt verstellbar. Die Bewegung der Taster geschieht gekoppelt mittels Kurbelantrieb und zwar bis kurz vor der Berührung rasch. Die Berührung erfolgt jedoch fast stoßfrei. Ihre Dauer wurde oszillographisch zu 1/10 s bestimmt, während der ganze Vorgang von der Ruhestellung der Taster bis zur Berührung nur 1 s in Anspruch nimmt. Justiermöglichkeiten sind vorgesehen, um die Taster so einzustellen, daß die Berührung beiderseits angenähert gleichzeitig erfolgt. Durch einstellbare Federn zwischen Kühlhülse und Tastrohr an dem nach außen weisenden Ende wird es ermöglicht, den Meßdruck bei der Berührung auf einige Gramm herabzusetzen. In der Ruhelage der Taster können deren Meßkuppen bequem auf Veränderungen kontrolliert werden. Die für die Messung wesentliche Berührungslage der Taster mit dem Probestab wird auf folgende Weise festgelegt. Die nach außen weisenden Tasterenden tragen je einen Mitnehmer, der bei Bewegung des Tasters zur Berührung einen kleinen Reiter — ein leichtes rechteckiges Aluminiumstück — mitschleppt. Die Reiter bleiben bei der Berührung der Prüfstabenden durch den Taster stehen und werden erst nach vorgenommener Ablesung durch einen besonderen von Hand zu betätigenden Mechanismus wieder in Bereitschaftsstellung gebracht. Oben in der Mitte und unten an zwei Stellen sind an den Reitern Schneiden aus Konstantan angebracht, von denen die eine untere gegen den Reiter isoliert ist. Die unteren Schneiden gleiten auf einem horizontal gespannten, auf eine kräftige Messingplatte gelöteten Konstantandraht. Ein auf die obere Schneide drückender Kupferbügel sorgt für ausreichenden Kontaktdruck. Für die kurze Strecke von 3 mm ist die Messingunterlage des Konstantandrahtes durch ein Isolierstück ersetzt, und es sind Einrichtungen getroffen, die es gestatten, daß bei Anlage der Taster an den Prüfstab der Reiter mit seinem nichtisolierten unteren Kontakt auf dem 3 mm langen Drahtstück über dem

Isolierstück ruht. Außerdem sind für Eichzwecke besondere mikrometrische Verstelleinrichtungen vorgesehen. Die Messung besteht danach darin, daß das Potential, das der Abgriffslage der Kontaktschneide des Reiters auf dem Schleifdraht entspricht, gemessen wird, das eindeutig von der Reiter- und damit Tasterlage abhängt. Da die beiderseitigen Schleifdrähte hintereinander geschaltet sind, ergibt die zwischen beiden Reitern ermittelte Spannungsdifferenz, die mit Hilfe eines Millivoltmeters oder eines Kompensators gemessen wird, den Abstand der Meßenden der Taster.

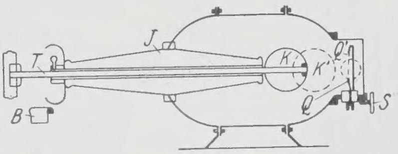
Hohe Ansprüche an die Genauigkeit der Meßergebnisse erforderten weitere besondere Vorkehrungen konstruktiver Art, die besprochen werden. Als wahrscheinliche obere Grenze der Fehler, die durch den mechanischen Teil der Messung entstehen, geben die Verf. $1/10\,\mu$ pro Taster an. Nach ihrer Erfahrung läßt sich der Gesamtfehler der Messung für jede Seite auf $1\,\mu$ herabdrücken. Durch Änderung der Belastungsstromstärke und Wahl geeigneter Meßinstrumente kann man die Empfindlichkeit der Methode in weiten Grenzen ändern. Die Temperatur des Prüfstabes wird mittels Thermoelements oder pyrometrisch gemessen. Graphische Darstellungen von Meßreihen und die aus diesen errechneten Ausdehnungskoeffizienten einiger Stoffe werden mitgeteilt.

Es ist den Verf. somit gelungen, ihre Versuche mit einem vollen Erfolg abzuschließen. Ihre Apparatur verdient besondere Beachtung, nicht nur wegen der mechanisch-elektrischen Anordnung zur Längenmessung, die sie selbst für andere Zwecke als geeignet bezeichnen. *W. Keil.*

## Ein neues Hochspannungselektrometer.

*Von* Th. Wulf. *Physikal. Zeitschr.* ***31.*** *S. 315—323. 1930.*

Das bewegliche System des Elektrometers besteht, ähnlich wie bei dem „Universalelektroskop" des Verf. aus einem Wollastondraht, der zwischen zwei federnden Quarzfäden aufgehängt und durch eine dünne Zuleitung, gleichfalls aus Wollastondraht, mit einem stabförmigen Träger leitend verbunden ist. Das System ist mittels eines Bernsteinpfropfens isoliert in einen wurstförmigen, als statischer Schutz dienenden Blech-Hohlkörper eingesetzt. Achsial in den Schutzzylinder ragt durch einen Isolator *J*, mit der Zuleitung *T* eingeführt, die spannungführende Kugelelektrode *K*, die in achsialer Richtung zwecks Änderung des Meßbereiches verschiebbar ist. Zwei Meßbereiche sind durch den inneren und äußeren Anschlag der verschiebbaren Elektrode festgelegt, weitere können durch Auflegen von Lehren *B* auf *T* und Einschieben bis zum Anschlag dieser Lehren gewählt werden. Daneben ist natürlich noch eine stetige Änderung des Meßbereiches möglich. Die Ablesung der Fadenstellung erfolgt durch ein in den Schutzkörper fest eingebautes Mikroskop, mittels welchen der Faden auch projiziert werden kann, z. B. wenn die zu messende Hochspannung nicht einseitig geendet werden darf. Von einer senkrecht zur optischen Achse gerichteten Mikroskopverschiebung wurde abgesehen und statt dessen eine entsprechende Systemkorrektion angeordnet, weil hierdurch die Nullstellung des Fadens denselben zwangläufig immer an dieselbe Stelle des Fadens bringt.




Im allgemeinen wird man den Faden mit dem statischen Schutz zusammen erden (Influenzmethode). Durch die isolierte Durchführung des Systems ist aber auch die Anlegung von Hilfsspannungen möglich. Die Feldverzerrung infolge der Fadenbewegungen ist — ähnlich wie bei dem Instrument von Starke und Schröder (vgl. *diese Zeitschr.* ***49.*** *S. 472. 1929*) zu vernachlässigen. Die Eichkurve hat den üblichen quadratischen Charakter. Meßbereich von einigen 100 bis etwa 50000 Volt. Bezüglich der z. T. bemerkenswerten Details muß auf die Originalarbeit verwiesen werden. E. Leybolds Nachf. A. G. in Köln hat die Herstellung übernommen. *Sewig.*

## Der Einfluß des Ziehens auf den Temperaturkoeffizienten des elektrischen Widerstandes bei Konstantan.

*(The effect of drawing on the temperature coefficient of the electrical resistivity of constantan.)*

*Von* R. S. J. Spilsbury, *Journ. scient. instr.* ***6.*** *S. 357—358. 1929.*

Da handelsübliches Konstantan in den Werten des Temperaturkoeffizienten des Widerstandes beträchtliche Streuung aufweist, die die im Laboratorium noch zulässige Grenze von $\pm 10 \times 10^{-6}$ pro Grad überschreiten, suchte der Verf. den Ursprung dieser Erscheinung zu ergründen. Es wurde vermutet, daß abgesehen von anderen Ursachen der Ziehprozeß von maßgebendem Einfluß ist

Für die Untersuchung stellte die *Concordia Electric Wire Company Ltd.* zwei Reihen Proben her. Bei der Herstellung der einen Reihe A wurde wie folgt verfahren:

Von jedem Ende eines geglühten Drahtes von ca. 0,76 mm Durchmesser-Ausgangswert (Reihe A) wurden Probestücke abgeschnitten. Dann wurde der Draht auf die Dicke von ca. 0,63 mm ausgezogen, wieder Proben an beiden Enden abgeschnitten und wieder ausgeglüht und das Verfahren schrittweise bei jedesmaligem Ausglühen nach dem Ziehen fortgesetzt bis eine Drahtdicke von ca. 0,1 mm erreicht war. Dann wurden sämtliche Proben auf 800° erhitzt. Bei einer anderen Reihe (B) wurde von einer Drahtdicke von ca. 0,91 mm ausgegangen und die Proben in ähnlicher Weise wie die der Reihe A gewonnen, nur daß nur bis 600° angelassen wurde. Danach wurden die Proben in dem Bereich von + 15° bis + 40° gemessen. Es ergab sich, daß bei beiden Probenarten eine stetige Änderung des erwähnten Koeffizienten mit fortschreitendem Ziehprozeß einhergeht, für beide in demselben Sinne, d. h. mit negativem Vorzeichen. Bei der Reihe A beginnt diese Änderung mit kleinem negativen Wert des Koeffizienten, bei der Reihe B mit größerem positiven.

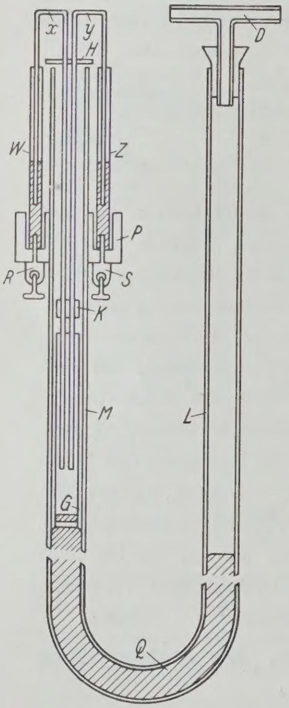
Die Ursache für dieses Verhalten konnte noch nicht festgestellt werden, soviel erscheint jedoch auch sichergestellt, daß die durch das Anlassen entstehende dünne Zunderschicht auf der Oberfläche ohne merklichen Einfluß ist.

Der Verf. empfiehlt für feine Drähte, von Material mit positiven Wert des Koeffizienten auszugehen, weist jedoch darauf hin, daß insofern Schwierigkeiten dem entgegenstehen, als handelsübliches Material überwiegend negative Werte aufweist. *W. Keil.*

## Vorrichtung zum Schutz der Quecksilberdampflampen mit Wasserstromkühlung.

*Von* L. Piatti. *Physikal. Zeitschr.* ***31.*** *S. 182—184. 1930.*

Zum Schutz vor Zerstörung wassergekühlter Quecksilberlampen nach Lummer-Straubel wird eine von der Firma Gundelach in den Handel gebrachte Vorrichtung beschrieben, die 1. übermäßige Wasserdrucke ableitet, 2. bei fehlender oder nicht ausreichender Kühlung die Lampe abschaltet bezw. das Einschalten verhindert.




Als Sicherheitsventil gegen zu starken Leitungsdruck dient ein in etwa 2 m Höhe über Entnahmehahn und Lampe aufgehängter Behälter mit Überlauf. Die Abschaltvorrichtung ist in der Abbildung schematisch dargestellt. Sie wird mittels eines T Stückes *D* an die Abflußleitung gelegt und besteht aus einem U-förmigen z. T. mit Quecksilber *Q* gefüllten Glasrohr von etwa 40 cm Schenkellänge. Der eine Schenkel *L* kommuniziert durch *D* mit der Abflußleitung, in dem anderen Schenkel schwimmt auf dem Hg-Meniskus ein unten geschlossenes, eine geringe Menge Quecksilber enthaltendes Glasröhrchen *G*. Die Zuleitungsdrähte *X*, *Y* ragen einerseits in den Schwimmer *G*, andererseits schwimmen sie in oben offenen, mit Quecksilber gefüllten Röhrchen *W*, *Z*, welche auch die Kontakte *R*, *S* in der isolierenden Muffe enthalten, durch welche die Vorrichtung in den Lampenstromkreis eingeschaltet wird. Die Vorrichtung arbeitet in der Weise, daß bei fehlender Kühlung der Schwimmer ziemlich tief steht, und der Stromkreis daher an den unteren Enden von *X*, *Y* unterbrochen ist. Bei richtiger Kühlung tritt in *L* ein geringer dynamischer Überdruck ein, wodurch der Schwimmer *G* gehoben wird. Hierdurch tauchen die unteren Enden von *X*, *Y* in den Quecksilbertropfen in *G* ein und schließen den Stromkreis. Bei Überdruck (wie er z. B. durch Verstopfung der Abflußleitung entstehen kann) wird der Schwimmer noch weiter emporgetrieben; er nimmt dann die Drähte *X*, *Y* mit und zieht sie aus den Quecksilbernäpfen *W*, *Z* heraus, wodurch abermals der Strom unterbrochen wird.

Die Vorrichtung hat zweifellos den Vorteil, daß man sie einfach und billig im Laboratorium selbst herstellen kann. Ob das aber nicht durch andere Nachteile (offene Quecksilberflächen, Zerbrechlichkeit) ausgeglichen wird, mag dahingestellt bleiben, desgleichen ob nicht ein Kontaktmanometer einfachster Konstruktion oder ein Bimetall-Relais, das bei zu hoher oder zu geringer Temperatur abschaltet, dieselben Dienste tun würden. *Sewig.*

## Vergleich von Selen- und Photozellen.

*Von* F. Schröter und W. Ilberg, *Physikal. Zeitschr.* ***30.*** *S. 801—804. 1929.*

Die vorliegende theoretisehe Erörterung bezieht sich nicht auf die von der Zeit abhängigen charakteristischen Eigenschaften der lichtelektrischen Zellen, sondern nur auf die „Empfindlichkeit". Den Überlegungen liegt die üblicherweise angewendete Röhrenverstärkerschaltung zugrunde. Die Zelle mit dem inneren Widerstand $R_i$ liegt mit einer Batterie von bestimmter EMK ($E$) und einem äußeren Widerstand vom Betrag $R_a$ in Reihe. Zu letzterem ist die Summe der schädlichen Kapazitäten von Zelle, Widerstand und Röhre als parallel liegend anzunehmen. Die durch den lichtelektrischen Strom am Widerstand $R_a$ bewirkten Spannungen $E_g$ steuern das Gitter der Verstärkerröhre. Als „Steuerempfindlichkeit" ist die durch eine Änderung $dL$ der Beleuchtung bewirkte Änderung von $E_g$ definiert:

$$\sigma = \frac{dE_g}{dL}. \qquad 1)$$

Die Untersuchung der maximalen Steuerempfindlichkeit führt im Fall der Selenzelle auf die aus der Verstärkertechnik bekannte Anpassungsbedingung: $R_a = R_i$. Unter dieser Annahme und Zugrundelegung einer empirisch gut bestätigten Näherungsformel für die Abhängigkeit von innerem Zellenwiderstand und Beleuchtung ergibt sich die Steuerempfindlichkeit der Selenzelle zu:

$$\frac{dE_g}{dL} = \frac{E}{L} \cdot 0{,}125, \qquad 2)$$

ein auf den ersten Blick überraschendes Resultat, in welches die für die Güte der Zelle charakteristische Konstante nicht eingeht. Der Nachteil „schlechter" Zellen besteht darin, daß sie bei optimaler Anpassung höhere Widerstände $R_a$ nötig machen.

Für die Photozelle ergibt sich bei Einführung einer durch Messungen gleichfalls gut bestätigten Abhängigkeit des Zellenstromes von Spannung und Belichtung als entsprechendes Resultat:

$$\frac{dE_g}{dL} = \frac{E}{L} \cdot 0{,}172, \qquad 3)$$

„falls die optimale Anpassung des Kopplungswiderstandes durchführbar ist."

Man darf nun hieraus nicht den Schluß ziehen, daß in der bezeichneten Schaltung der Photozelle vor der Selenzelle ein — allerdings nicht sehr bedeutender — Vorzug gebührt. Das Ergebnis der Gleichung 3) wird nämlich von den Verf. auf Grund einer Näherung errechnet, die die Saugspannung der gasgefüllten Zelle sehr nahe der Zündspannung der selbständigen Entladung annimmt. Solche Betriebsbedingungen kommen aber in der Praxis nicht in Frage infolge der großen Steilheit der Stromspannungskurve der edelgasgefüllten Zelle in der Nähe der Glimmspannung, der Instabilität infolge geringer Änderungen (meist Senkungen) der Glimmspannung, endlich der in solchen Fällen infolge des Ionenbombardements verkürzten Lebensdauer der aktiven Photokathoden. Bei der Verwendung rasch wechselnder Lichtzeichen, wie sie bei Bildtelegraphie, Klangfilm usw. vorkommen, muß außerdem bei Alkalizellen die durch die schädliche Kapazität und die hohen Zellenwiderstände verschlechterte Anpassung bei hohen Frequenzen, bei Selenzellen die natürliche Trägheit berücksichtigt werden. Die Verf. stehen auf dem Standpunkt, daß die Frage nach dem Vorteil der einen oder anderen Zellenart in jedem Einzelfall experimentell entschieden werden muß. *Sewig.*

## Über eine Methode kurze Zeitintervalle mit Hilfe eines unmittelbar anzeigenden Instruments zu messen.

*(A new method of measuring short time intervals by means of a direct reading instrument.)*

*Von* W. Phillips. *Journ. Scient. Instr.* ***7.*** *S. 126—128. 1930.*

Das Drehspulengalvanometer kann unmittelbar zur Messung kurzer Zeiten verwendet werden, wenn die Trägheit der Bewegung des Drehspulensystems und die Kraft der Rückstellfedern im Verhältnis zur Dämpfung klein gehalten werden, da dann der Betrag der Ablenkung der abenkenden Kraft, d. h. dem die Drehspule durchfließenden Strom proportional ist. Sorgt man dafür, daß von Beginn des zu messenden Zeitintervalls ein stetiger Strom das Instrument durchfließt, den man genau am Ende des Intervalls unterbricht, so gibt die Endstellung des Zeigers ein Maß für die verstrichene Zeit. An einer entsprechend geteilten Skale kann man die Zeit unmittelbar

ablesen. Das ist das für den Bau des „Millisecondmeter“ — brit. Patent Nr. 288685 — das der Verf. behandelt, maßgebende Prinzip, das von W. H. Grinsted angegeben wurde und im *Research Department* von Elliott Brothers — London — technisch verwirklicht wurde.

Das Millisecondmeter enthält ein Präzisionsdrehspulensystem von kleinstmöglicher Masse und größtmöglicher Dämpfung und die wie erwähnt besonders geeichte Skala. Rückstellfedern fehlen, dafür sind elektrische Einrichtungen vorgesehen, die die Zurückführung des Zeigers nach der Messung in die Ausgangsstellung besorgen, die aber nicht näher beschrieben werden. Der Strom wird der Drehspule durch dünne Bänder zugeführt, denen nur diese Aufgabe zukommt.

Mit dem Gerät mißt man in Wirklichkeit mAs; wird jedoch der Strom für einen Skalenbereich konstant gehalten, so kann die Skale für diesen nach Millisekunden — 1/1000 s — geeicht sein. Damit man mit dem Instrument bequem arbeiten kann, ist es mit den erforderlichen Schaltern, Widerständen, Anschlußklemmen für die Meßbatterie u. a. Organen in einem Gehäuse vereinigt. In einer Abbildung wird das Schema der Anordnung gezeigt, die erforderlich wird, wenn mit dem Gerät die Brenngeschwindigkeit einer Zündschnur, wie sie im Bergbau gebraucht werden, gemessen werden soll. Mit dem Instrument lassen sich die Funktionsdauer von Relais, Brennzeiten von Zündern, Geschoßflugzeiten, physiologische Reaktionszeiten messen und ähnlich geartete Messungen durchführen. Seine Bedienung erfordert besondere Geschicklichkeit nicht. *W. Keil.*

## Über die Verwendung selbsttätiger photographischer Zeitauslöser als Präzisionszeitmeßgeräte.

*(The use of photographic self-timers as precision timing instruments.)*

*Von* Kailsh Nath Mathur und Tara Kant Lahiri. *Journ. Scient. Instr.* **7.** *S. 122—125. 1930.*

Die Verf. untersuchen drei verschiedene Typen von Zeitauslösern, indem sie den bekannten Drahtauslöser, der durch den Zeitauslöser betätigt wird, einen Schalter betätigen lassen. Dieser Schalter schließt einen Stromkreis, in dem ein elektrisch auszulösender Verschluß liegt, bestehend aus einem kleinen Klingelmagneten, dessen Anker einen Aluminiumstab mit einem den Lichtweg unterbrechenden leichten Aluminiumblättchen trägt. Die Zeitaufzeichnung geschieht nach einer von Campbell und Smith angegebenen Methode. Ein Vibrationsgalvanometer nach Campbell, das sorgfältig auf Resonanz mit einer 50-Perioden-Stimmgabel abgestimmt wurde, reflektiert mit seinem Spiegel das von einer Lampe durch einen feinen vertikalen Spalt fallende Licht, das das Zylinderprisma einer Cambridgekamera mit bewegter Platte durchsetzt und eine scharfe Lichtspur auf der Platte zeichnet. Bei einer Amplitude der Aufzeichnung von 30 mm ist es möglich noch $^1/_4$ Schwingung, d. h. $^1/_{200}$ s genau abzulesen.

Der beschriebene elektrische Verschluß wird dazu benutzt, den einfallenden Lichtstrahl zu unterbrechen. Arbeitet der Zeitauslöser, so wird der besondere Schalter betätigt, der Verschluß gibt den Spalt frei, solange wie der Schalter durch den Zeitauslöser geschlossen gehalten wird. Die Zahl der aufgezeichneten Galvanometerschwingungen ergibt dann ein Maß für die durch den Zeitauslöser abgemessene Zeit.

Der besondere Schalter wird durch eine Abbildung erläutert; er schließt außerdem einen zweiten Stromkreis und bewirkt, daß die Platte in der Kamera sich, kurze Zeit bevor der Verschluß den Lichtweg frei gibt, in Bewegung setzt.

Die Ergebnisse sind in Tabellenform zusammengestellt. Es zeigt sich, daß die wirklichen Zeiten von den auf der Einstellscheibe angegebenen Sollwerten erheblich abweichen, daß jedoch bei wiederholten Auslösungen die Abweichungen von dem mittleren Wert für eine Einstellung sehr klein sind, die maximal nur 3 Proz. meist aber weniger als 1 Proz. betragen. Es zeigt sich, daß mit wachsender Öffnungszeit der Fehler gegenüber dem Sollwert abnimmt. *W. Keil.*

## Einheitliche Bezeichnungen für technische Zeitmeßinstrumente.

(Vorschläge des A. W. F. *D. Uhrm.-Ztg. 1930. (Nr. 17). S. 283.* und Obering. H. Hoffmann, *ebenda 1930. (Nr. 25). S. 427*).

Auf Anregung des Zentralverbandes Deutscher Uhrmacher hat der A. W. F. (Ausschuß für wirtschaftliche Fertigung im Reichskuratorium für Wirtschaftlichkeit) sich veranlaßt gesehen, der Öffentlichkeit Vorschläge für die Schaffung einheitlicher Bezeichnungen für technische Zeitmeßgeräte

vorzulegen (Stoppuhren. Zeitschreiber usw.). So begrüßenswert solche Arbeiten sind, um so mehr da ja Zeitstudien in der Mengenfertigung eine immer größer werdende Rolle spielen, so ist doch zunächst zu bedenken, daß es sich hier um ein verhältnismäßig enges Spezialgebiet der Zeitmessung handelt. Da aber — leider! — auf dem Hauptgebiet alle derartigen Normungsarbeiten noch in den Kinderschuhen stecken, erscheint im Verhältnis zum Aufwand die wirtschaftliche Notwendigkeit der Arbeiten auf dem Spezialgebiet nicht überragend groß. Andererseits sind die bisherigen Vorschläge des A. W. F. z. T. sehr abweichend von den Handelsgebräuchen, und trotz der Heranziehung einiger Fachleute tragen die Vorschläge z. T. den Stempel einer gewissen Systemlosigkeit, so daß nach der Veröffentlichung vielfach größere Widersprüche laut geworden sind. Besonders eingehend befaßt sich ein Aufsatz von H. Hoffmann an der genannten Stelle mit dieser Frage.

Am radikalsten erscheint der Vorschlag des A. W. F., die bisherige „Stoppuhr" in Zukunft „Zeitstopper" zu nennen, während die vor allem in der Schweiz sogenannten „Chronographen", d. h. sicher unzutreffend so bezeichneten Taschenuhren mit Stoppvorrichtung in Zukunft „Stoppuhren" heißen sollen. Wenn es auch durch die zum großen Teil ausländische Herkunft dieser Geräte sehr schwierig durchzuführen sein wird, so wäre ein treffender Ersatz der irreführenden Bezeichnung „Chronograph" sicher erwünscht; dagegen sind gegen den ersten Vorschlag schwerwiegende Bedenken zu erheben. Man ist wohl beim A. W. F. davon ausgegangen, daß die „Stoppuhr" in ihrer gebräuchlichen Form nicht zur Anzeige der Tageszeit dient wie die Uhr überhaupt. Aber Hoffmann weist mit Recht darauf hin, daß dieser Ausdruck sich seit Jahrzehnten so eingebürgert hat, daß der Versuch eines Ersatzes ziemlich aussichtslos erscheint. Und auch der Ausdruck „Zeitstoppen" ist wohl kaum zutreffender; denn die Zeit kann nicht "gestoppt" werden im Sinne des Begriffs „stoppen = anhalten, bremsen, stillsetzen usw.", sondern das Instrument wird stillgesetzt. Und wie Hoffmann mit Recht betont, sind auch andere Wortverbindungen mit dem Wort „Uhr", z. B. Dampfuhr, Gasuhr, Wasseruhr, im Volksmund und in der Technik viel gebräuchlich, ohne daß die Praxis irgendwie daran Anstoß nimmt. Alle Bestrebungen nach Reinigung der technischen Sprache in Ehren, aber man sollte auch historisch gewordene Namen nicht zu viel ändern. Außer dem Bedenken der schwierigen Einführung erscheint aber auch die Verwandlung des bisherigen, recht kostspieligen Chronographen in eine „Stoppuhr", die bisher ein verhältnismäßig billiges und einfaches Gerät war, aus preis- und verkaufspsychologischen Gründen unzweckmäßig.

Hoffmann beanstandet ferner an den Vorschlägen des A. W. F. vor allem die Verknüpfung von Toleranzbestimmungen, Angaben über Meßunterteilungen usw. mit der neuen Terminologie. Wenn diese Methode wohl auch im allgemeinen den Bestrebungen des Normenausschusses entspricht, so ist es auf solchen Spezialgebieten doch oft recht gefährlich, um so mehr wenn auf dem Hauptgebiet die Grundlagen selbst noch nicht einheitlich sind. Vor allem erscheinen die Vorschläge des A. W. F. insofern ohne festes System, als ziemlich wahllos Artverschiedenheiten mit graduellen Unterschieden gegenübergestellt werden.

Die Arbeit von Hoffmann ist insofern bemerkenswert, als sie über die Kritik hinaus den Versuch einer systematischen Unterteilung aller Zeitmesser macht, die als gute Grundlage für die Vereinheitlichung der Terminologie angesehen werden kann. Nach der Art unterscheidet er Zeitanzeiger (z. B. Uhren überhaupt), Zeitdauermesser und Zeitbegrenzer. Dieser horizontalen Gliederung, deren jede Gruppe noch in „schreibende" und „nichtschreibende" Geräte unterteilt ist, steht die vertikale Gliederung gradueller Art nach der Größe des Meßbereiches, wobei jede Gruppe in fünf Genauigkeitsgrade wiederum unterteilt ist. So gelingt es tatsächlich, ein einheitliches System in Form einer Tabelle für alle Zeitmeßgeräte von der Präzisionspendeluhr bis zum Zeitverschluß an Photoapparaten aufzustellen. Für Einzelheiten sei auf die Originalarbeiten verwiesen.

*J. B.*

## Über das Schmelzen und Bearbeiten des Rhodiums und einige seiner physikalischen Eigenschaften.

*(Melting, mechanical working, and some physical properties of rhodium.)*

*Von* W. H. Swanger. *Bur. of Stand. Journ. of research* **3.** *S. 1029—1040. 1929.*

In Fortsetzung seiner Forschungen an Platinmetallen hat der Verf. eingehend das Rhodium untersucht. In der vorliegenden Arbeit berichtet er über ein Verfahren zur Reinigung dieses Metalls,

wie auch über die Technik, dieses Material zu schmelzen und zu bearbeiten. Außerdem teilt er eine Anzahl an Rhodium, das besonderen Reinheitsgrad aufwies, neu ermittelte physikalische Konstanten mit.

Der Schmelzpunkt des Rhodiums wurde zu $1985^0 \pm 10^0$ bestimmt. Das Metall läßt sich im Knallgasgebläse in einem hartgebrannten Kalkblock oder in einem Vakuumhochfrequenzofen, bei Verwendung von Tiegeln aus geschmolzenem Thorium, schmelzen. Bei Zimmertemperatur ist das erschmolzene Metall nicht hämmerbar, läßt sich aber bei Temperaturen über $800^0$ bequem schmieden und wurde warm zu Drähten von 1 mm Durchmesser ausgehämmert. Die bei Temperaturen über $800^0$ gehämmerten Drähte sind nicht dehnbar und weisen grobkörniges Gefüge auf. Setzt man das Hämmern unter gleichzeitiger Erniedrigung der Temperatur fort, so nimmt der Draht faserige Struktur an, wird dehnbar und kann bei Zimmertemperatur gezogen werden.

Die Neubestimmung physikalischer Eigenschaften des Rhodiums ergab die Dichte zu $12{,}4\ g/cm^3$, einen elektrischen Widerstand bei $20^0$ von $4{,}93\ \mu\Omega/cm$, eine Thermokraft gegen Platin bei $1200^0$ zu 18,42 mV, einen Temperaturkoeffizienten des Widerstandes zwischen $0^0$ und $100^0$ von 0,00436 und einen mittleren thermischen Ausdehnungskoeffizienten zwischen $20^0$ und $50^0$ von $9{,}6 \times 10^{-6}$. Das Reflexionsvermögen ist für das sichtbare Spektrum konstant, nimmt aber rasch nach dem Ultraviolett zu ab. *W. Keil.*

## Die Besonderheiten der Schmiertechnik bei feinmechanischen Instrumenten unter Berücksichtigung neuerer Forschungsergebnisse.

Nach einem Vortrag von Dr. Cuypers vor dem Ausschuß 9 — Schmiermittel — des Verbandes für die Materialprüfungen in der Technik. *Mitteilungen des Verbandes, Heft 17.*

Der Vortragende, einer der erfahrensten Praktiker auf dem Gebiete der Ölherstellung, speziell für feinmechanische Geräte, Uhren usw., gibt, ähnlich wie in einem früheren Vortrag in der *Gesellschaft für Zeitmeßkunde und Uhrentechnik* (vgl. zweiten Bericht dieser Gesellschaft), in erster Linie einen Überblick über die grundlegende Verschiedenheit der Schmierungsprobleme in der Großmechanik und der Feinmechanik, aus dem sich vor allem auch ergibt, daß hinsichtlich der Materialprüfung und Beurteilung der Öle andere Gesichtspunkte zu beachten sind. Bei seinen theoretischen Ausführungen stützt er sich besonders auf die Untersuchungen und Theorien von Woog in Paris. (Referat in *dieser Ztschr.* ***48.*** *S. 568. 1928.*)

Während im Maschinenbau der Idealzustand einer reinen Flüssigkeitsreibung, die den Gesetzen der Hydrodynamik folgt, weitgehend erreicht wird, haben wir es in der Feinmechanik durchweg mit einer monomolekularen Schmierschicht zu tun. Da aber auch diese eine Reibungsverminderung bewirkt, kommt man also mit der Vorstellung der hydrodynamischen Flüssigkeitsreibung nicht aus. Nach den neuen Theorien nimmt man daher an, daß auch die innere molekulare Verschiedenheit der Stoffe von Bedeutung ist. Gewissermaßen stellt sich jede Oberfläche als Sitz eines Kräftefeldes dar, so daß die Reibung im wesentlichen als ein Ineinanderübergreifen dieser Kräftefelder aufzufassen ist, das zu verhindern die Aufgabe der Schmiermittel ist, während in der Großmechanik die Unebenheiten der Oberflächen bisher als maßgebend betrachtet sind.

Bei den monomolekularen Schmierschichten der feinmechanischeu Geräte wird angenommen, daß die Oberfläche das Schmiermittel adsorbiert, wodurch deren Moleküle immobilisiert werden und ihren Flüssigkeitscharakter verlieren. Als Sitz eines freilich geringeren Kräftefeldes tritt so eine Oberfläche ein. Wir haben es also nunmehr mit einem Ineinandergreifen der Kräftefelder der Schmiermittelschichten zu tun, wodurch eine geringere Reibung eintritt. Es ist daher zur Beurteilung eines Öles in der Feinmechanik vor allem wichtig, daß ein, wenn auch noch so feiner Ölfilm ununterbrochen erhalten bleibt.

Das ist von einer Reihe von Eigenschaften abhängig, die vom Vortragenden im einzelnen gewürdigt werden, und deren Summe er nach Anregungen von Woog mit Onktuosität oder Schlüpfrigkeit bezeichnet. Diese ist für die Feinmechanik von wesentlich größerer Bedeutung als die Viskosität.

Im Gegensatz zum Maschinenbau ist in der Feinmechanik meist keine ständige Erneuerung des Öles möglich, vielmehr müssen geringe Mengen Öl z. T. jahrelang ausreichen; hieraus ergeben sich weitere verschärfte Anforderungen. In erster Linie darf das Öl nicht breitlaufen, sondern muß sich

im Lager halten; in physikalischer Hinsicht muß es den stark wechselnden Einflüssen der Temperatur gewachsen sein, und schließlich soll seine chemische Haltbarkeit möglichst groß sein.

Bei einer eingehenden Besprechung dieser einzelnen Forderungen zeigt der Vortragende, daß die Bevorzugung der fetten Öle des Tier- und Pflanzenreiches gegenüber den Mineralölen insbesondere hinsichtlich der ersten Forderung sich auch mit den Erkenntnissen der Theorie deckt. Bei der Beurteilung der Temperatureinflüsse zeigt er, daß dem Erstarrungspunkt fälschlich eine zu große Bedeutung beigemessen wird. Es kommt nicht so sehr auf den absoluten Wert dieses Punktes an, als vielmehr darauf, ob bei dem auch unterhalb des Erstarrungspunktes sich fortsetzenden Umwandlungsprozeß noch lange eine dünnsalbige Konsistenz erhalten bleibt, oder ob bald ein talgartiger Zustand eintritt.

Betreffend der chemischen Haltbarkeit liegen die Dinge leider so, daß gerade diejenigen Eigenschaften, die den ersten Bedingungen am besten entsprechen, hier am ungünstigsten sind. Da die Praxis aber auf alle Bedingungen Wert legt, bleibt nichts anderes als ein Kompromiß übrig, wobei je nach dem Zweck die eine oder andere Seite zu bevorzugen ist.

Leider sind noch nicht alle Ursachen der chemischen Veränderung der Öle bekannt, und es treten hier in der Praxis die eigenartigsten Erscheinungen auf. So z. B. wird immer wieder behauptet, daß trotz der besseren Öle und der modernen Fertigung das Öl in den heutigen Uhren sich schneller zersetzt als in früheren Zeiten.

Hier wird besonders darauf hingewiesen, daß die z. B. durch den Sauerstoff oder die Feuchtigkeit der Luft oder andere Einflüsse verursachten Veränderungen katalytisch stark durch die Art der Metalle gefördert werden können. Als allerschlimmster Feind des Öles wird der in der modernen Fabrikation viel verwendete Automatenstahl mit 0,15 bis 0,2% Schwefel oder Phosphorgehalt bezeichnet, der nicht allein fette Öle, sondern auch seine Raffinate in geraumer Zeit völlig zersetzen kann. Auch schwefelhaltiges Isoliermaterial in Elektrizitätzählern, ja bestimmte Mahagonisorten für Uhrgehäuse haben ähnliche schlimme Erscheinungen verursacht, vor allem auch bestimmte Spritzgußlegierungen. Diese Ausführungen geben auch der Fabrikation neue Gesichtspunkte, da bekanntlich bei der Konstruktion und Massenfertigung auf Öl die wenigste oder gar keine Rücksicht genommen wird; man wird dem Vortragenden Recht geben, daß die beste Konstruktion nichts nützt, wenn der Apparat aus Ölschwierigkeit in absehbarer Zeit versagt; und „Ideal-Universal-Öle“ wird es wohl nie geben können.

In der Aussprache wiesen verschiedene Redner auf den Einfluß des Sauerstoffes der Luft, ihrer Verunreinigung durch industrielle Abgase und vor allem auch der Lagermetalle hin; am ungünstigsten wirken sich Blei, Bleilegierungen und ihnen verwandte Gruppen auf das Öl aus.

Zusammenfassend: In der Ölfrage kann man buchstäblich und übertragen wirklich sagen: *Πάντα ῥεῖ.* *J. B.*

---

## Bücherbesprechungen.

**A. Nippoldt, J. Keränen, E. Schweidler,** Einführung in die Geophysik II; Erdmagnetismus und Polarlicht. Wärme- und Temperaturverhältnisse der obersten Bodenschichten. Luftelektrizität. (Bd. 8 der Naturwissenschaftlichen Monographien und Lehrbücher.) 8°. IX, 388 S. m. 130 Abb. Julius Springer, Berlin 1929. Geh. 33,— RM., geb. 35,— RM.

Die Sonderzweige der Geophysik, zwischen denen vor nicht langer Zeit Berührungspunkte kaum wahrzunehmen waren, greifen mehr und mehr ineinander und verschmelzen sich, wie die Verf. in ihrem Vorwort aussprechen, zu einem einheitlichen Wissensgebiet. Diese Entwicklung hat den Versuch veranlaßt, diese Wissensgebiete in einer die neuesten Anschauungen und Ergebnisse in den Vordergrund stellenden Einführung, deren zweiter Band vorliegt, zusammenzufassen. Naturgemäß ist die Geophysik zu umfangreich, als daß ein einzelner Bearbeiter sie bewältigen könnte. Trotzdem gelingt es den drei Verfassern darzutun, daß ihre Sondergebiete in einen Rahmen gehören und dank der Anlage ihrer Darstellungen einen Eindruck zu vermitteln, der einen breiteren Leserkreis befriedigen wird.

In dem ersten Teil — Erdmagnetismus und Polarlicht — der 168 Seiten umfaßt, behandelt A. Nippoldt zunächst die für das Verständnis erdmagnetischer Probleme erforderlichen Grund-

begriffe und meßmethodischen Grundlagen. Den Kern seiner Ausführungen bilden die Abschnitte über das beharrliche Magnetfeld der Erde und über die zeitlichen Variationen der erdmagnetischen Elemente. Organisch schließt sich ein Kapitel über das Polarlicht an, das gleichzeitig eine der vielen Brücken zur Physik des Kosmos bildet. Ohne auf Einzelheiten weiter einzugehen, soll nur angedeutet werden, daß auch das moderne erdmagnetische Instrumentarium behandelt wird und daß auch in dem Kapitel Polarlicht die Versuche von Birkeland gebührend berücksichtigt werden.

Der zweite Teil des Buches stammt von J. Keränen, der auf 122 Seiten unsere Erkenntnisse und Ergebnisse über die Wärme- und Temperaturverhältnisse der obersten Bodenschichten zusammenfaßt. Der für die Physik der Atmosphäre bedeutungsvolle Fragenkomplex wird mit weitgehender Vollständigkeit bearbeitet, die dem fernerstehenden eine deutliche Vorstellung von vielfältigen Schwierigkeiten ermöglicht, die sich der Forschung auf diesem eng begrenzt erscheinenden Gebiet entgegenstellen.

Im letzten Teil des Buches gibt E. Schweidler auf 85 Seiten eine Einführung in die Luftelektrizität, die nach Umfang und Inhalt insbesondere auch infolge der vom Verfasser gewählten Gliederung des Stoffes: Der Ionisationszustand der Erdatmosphäre; Das elektrische Feld der Erde; Die elektrischen Ströme in der Atmosphäre und Die Störungen des elektrischen Feldes, eine willkommene Bereicherung der luftelektrischen Literatur darstellt.

Dem Charakter des Buches entsprechend sind die durch Beobachtung und Messung gesicherten Ergebnisse überall hervorgehoben; eingehende theoretische Betrachtungen treten dafür zurück, würden aber auch dem beabsichtigten Zweck weniger entsprechen und zu unerwünschter Ausführlichkeit zwingen. *W. Keil.*

**L. H. G. Dines**, *The Dines balloon meteorograph and the methode of using it.* 8°. IV, 475 S. mit 22 Abb. London 1929. *(Meteorological Office 321.)*

Der bekannte bereits in der Zeit von 1907 bis 1914 von W. H. Dines entwickelte Meteorograph für Registrierballons zeichnete nur Druck und Temperatur auf. Die von seinem Konstrukteur entworfene Einrichtung zur Feuchtigkeitsregistrierung hat der Verf. vollendet, der in dem vorliegenden Heft das nunmehr als vollständiger Meteorograph zu bezeichnende Instrument eingehend beschreibt und die für den Gebrauch des Geräts im englischen meteorologischen Dienst geltenden Eich- und Auswertemethoden mitteilt. Das auch im internationalen Dienst teilweise eingeführte Gerät zeichnet sich durch außerordentliches geringes Gewicht aus; es wiegt nur 40 g, das Schutzgehäuse dazu 35 g. Es werden demnach nur kleine Ballons erforderlich. Außerdem beschreibt der Verfasser einige Hilfsapparate, die teils der Auswertung der gewonnenen Aufzeichnungen dienen, teils bei der Eichung benutzt werden und sich bewährt haben. Da das Instrument in seinem Bau grundsätzlich keine Veränderungen gegenüber der Form aufweist, die es bereits vor 15 Jahren erhielt, kann auf einen Bericht über Einzelheiten verzichtet werden. *W. Keil.*

**H. I. Gramatzki.** Hilfsbuch der astronomischen Photographie. Kl. 8°. 102 S. mit 29 Abb. und 1 Tafel. Ferd. Dümmler, Berlin—Bonn. 1930. Geb. RM 6,00.

Die praktisch-astronomische Arbeit, insbesondere die astronomischen Messungen sind dem Liebhaberastronom zum größten Teil unzugänglich, weil sie größere und teuere instrumentelle Einrichtungen voraussetzen. Anderseits liegen nicht jedem Liebhaber die bereits mit einfachen optischen Hilfsmitteln und bei visueller Beobachtung möglichen photometrischen Arbeiten. Nimmt man die Photographie zu Hilfe, so zeigt es sich, daß schon geringer Aufwand an optischen und anderen instrumentellen Hilfsmitteln dem Liebhaber viele neue und sehr dankbare Betätigungsmöglichkeiten erschließt.

In seinem Hilfsbuch der astronomischen Photographie gibt der Verf. einen Überblick über die erforderlichen optischen Hilfsmittel, die Aufnahmetechnik einschließlich der Sensibilisierungsverfahren und im ganzen eine sehr ansprechende Einführung in die Astrophotographie. Daß er auch die verschiedenen Arbeitsmöglichkeiten, die die Zuhilfenahme der Photographie eröffnet, inbesondere auch die photographische Sternphotometrie und die Aufnahme von Sternspektren sowie die Photographie durch Filter behandelt, erhöht den Wert der Darstellung. Für die Praxis des beobachtenden Liebhaberastronoms bestimmt, stellt das Buch eine wertvolle Bereicherung dar; auch der Fachmann wird sein Erscheinen begrüßen. *W. Keil.*

**Manfred von Ardenne,** Verstärkermeßtechnik. Instrumente und Methoden. Unter Mitarbeit von Wolfgang Stoff und Fritz Gabriel. Mit einem Geleitwort von Professor Dr. M. Pirani. Gr. 8⁰. VII, 235 S. mit 246 Textabb. Berlin, Julius Springer 1929. RM. 22,50; geb. RM 24,—.

Das Buch enthält eine geschickte Zusammenstellung der in den letzten Jahren auf dem gekennzeichneten Gebiete erschienenen meßtechnischen Arbeiten. Es ist deshalb, wie Verf. auch im Vorwort betont, kein Lehrbuch der Verstärkertheorie, sondern ein Hilfsbuch bei praktischen Messungen und als solches recht brauchbar, insbesondere auch für diejenigen, die aus Mangel an Zeit oder Gelegenheit nicht in der Lage sind, die in der Literatur verstreuten Originalarbeiten zu lesen.

Entsprechend dem rein praktischen Charakter des Buches tritt die mathematische Behandlung der Probleme fast völlig in den Hintergrund. Zwar sind die wesentlichen Beziehungen vielfach auch in mathematischer Form hingeschrieben, doch wird auf die Ableitung meist nicht eingegangen. Die Darstellung ist klar und manchmal etwas knapp; sie setzt im allgemeinen eine ziemlich intensive Beschäftigung mit dem Stoff voraus.

Behandelt werden zunächst die Geräte zum Erzeugen, Regulieren und Messen schwacher Wechselströme und Wechselspannungen. Von Dingen, deren Zusammenstellung besonders dankenswert erscheint, seien hier genannt Tonfrequenzgeneratoren, Spannungsteiler und Röhrengalvanometer Es folgen die Methoden zur Verstärkungsmessung, das eigentliche Hauptkapitel, das auch die Untersuchungen der Einzelteile von Verstärkern enthält; ferner ein angehängtes Kapitel über Messungen verwandter Art. Hier werden behandelt: Messung von Empfangsfeldstärken, Dämpfungsdekrementen, Gleichrichtereffekten, Modulations- und Verzerrungsgraden, Gitterströmen; ferner folgt je ein Abschnitt über die Messung kleiner Kapazitäten und über die Ermittelung von Oberschwingungen. Daran schließt sich ein Schlußkapitel über Fehlerquellen und ihre Vermeidung, wobei besonders auf das interessante Gebiet der Abschirmung elektrischer und magnetischer Felder eingegangen wird, sowie ein Literaturverzeichnis.

Sachlich ist zu bemerken, daß gelegentlich Ausdrücke, vom wissenschaftlichen Standpunkt aus gesehen, nicht ganz einwandfrei erscheinen (Brechung des Kathodenstrahls, S. 116; Zweck der Trocknung eines Normalkondensators, S. 183). Die Ansicht, daß Kapazitäten unter 10 cm in der Brücke nicht mehr meßbar seien (S. 180), beruht auf einem Irrtum, ebenso die Angabe, daß es nicht möglich sei, die Teilkapazitäten einer Röhre direkt zu messen (S. 184). Die Gittergleichrichtung ist nicht so ausführlich behandelt wie die Anodengleichrichtung, mit der Begründung, daß dies zu weit führen würde (S. 170). Ref. ist nicht dieser Ansicht, zumal da eine gute, einfache Darstellung der Audionwirkung in den einschlägigen Werken in der Regel fehlt. Das Röhrenamperemeter stammt, soweit dem Ref. bekannt ist, nicht von Hazel (S. 52), sondern von Trautwein *(Jahrb. d. drahtl. Telegr.* ***18.*** *S. 38. 1921).*

Diese Bemerkungen über Einzelheiten sollen jedoch keine Bemängelung darstellen. Das Buch zeigt bei fast allen besprochenen Apparaten bzw. Meßverfahren, worauf es ankommt und worauf zu achten ist, und diese Angaben sind für den Praktiker in erster Linie von Wert. Es kann daher jedem, der sich mit einschlägigen Messungen befaßt, empfohlen werden. *Zickner.*

**P. Arcay,** *Les huiles en horlogerie. (Le problème des lubrifiants.)* 8⁰. E. Magron, Biel. 6 Fr.

Seitdem durch die Veröffentlichungen von Paul Woog[1]) in Paris, die in Deutschland vor allem von Dr. Cuypers[2]) bekannt gemacht worden sind, sich über das Wesen der Reibung und der Reibungsänderung durch Schmierung neue Anschauungen gebildet haben, vor allem für feinmechanische Geräte und Uhren, ist die ganze Ölfrage wieder häufig behandelt worden, vorläufig freilich ohne endgültige Ergebnisse.

Daß es auch keineswegs leicht sein wird, zu eindeutigen Richtlinien zu kommen, zeigt dieses Buch wiederum. Da die hauptsächlichen Veröffentlichungen über die Ölfrage in vielen, überwiegend ausländischen Zeitschriften verstreut sind, wird der Wissenschaftler und Konstrukteur, aber auch

---

[1]) P. Woog, *Contribution à l'étude du graissage — Onctuosité — Influences moléculaire.* Delagrave, Paris.

[2]) Dr. Cuypers, Vortrag auf der Tagung der Gesellschaft für Zeitmeßkunde und Uhrentechnik in Goslar 1928 (vgl. 2. Bericht dieser Gesellschaft) und Vortrag im Ausschuß für Schmierungsfrage des VDMA. 1930. Referat in *dieser Zeitschr.* ***50.*** *S. 660. 1930.*

der Betriebsingenieur und der Praktiker, nicht allein der Uhrentechnik, sondern der gesamten Feinmechanik, soweit er der französischen Sprache mächtig ist, das Erscheinen dieses Buches begrüßen, das auch unter Berücksichtigung der neuesten Forschungen die mit vielem Fleiß und Sachkenntnis gesammelten Ergebnisse wiedergibt. Angesichts des doch ziemlich engen Interessenkreises wird man es dem Verleger nicht so sehr verdenken, daß die äußere Ausstattung zu wünschen übrig läßt und über die bekannte französische Sparsamkeit am Einband usw. hinausgeht; man muß vielmehr den Mut des Verlegers anerkennen, ein solches Spezialwerk herauszubringen.

Freilich, man muß auch bei der Lektüre ein bischen sehr den „Kern aus der Schale“ herausknacken; denn in dem Bestreben, auch dem Praktiker ohne chemische und physikalische Vorkenntnisse das Verständnis der vielen Fragen zu erleichtern, ist der Verfasser in den Fehler viel zu großer Ausführlichkeit, vor allem bei der Beschreibung der Prüfmethoden und der physikalischen Eigenschaften der Öle, verfallen. Dinge, die in jedem Lehrbuch der Physik stehen, sind hier in epischer Breite wiederholt.

Wichtig und sehr interessant sind neben der Behandlung der chemischen Eigenschaften vor allem die Kapitel über die mittelbaren und unmittelbaren Reibungen im Uhrwerk und über die Prüfmethoden der Schmierfähigkeit der einzelnen Ölarten, wobei sowohl die mathematischen Grundlagen als auch die experimentellen Ergebnisse wiedergegeben werden. Auch der Einfluß der Temperatur und sonstiger äußerer Einflüsse, von denen der Verfasser außer den bereits bekannten vor allem den Einfluß des heute ja viel mehr gebräuchlicheren Parfums betont, sowie die Alterungserscheinungen sind recht anschaulich behandelt.

Das Kapitel „Die Praxis des Ölens“, das etwas dürftig ist, gibt außer einigen recht allgemeinen Ratschlägen für die Wahl und den Gebrauch von Ölen vor allem die bekannten Theorien von Woog wieder.

Dem ganzen Buch fehlt offenbar etwas das System, wenngleich zuzugeben ist, daß es bei der großen Ungeklärtheit aller Ölfragen nicht gerade leicht ist, ein solches innezuhalten.

Aus dem hier in dieser Zeitschrift vielleicht vor allem interessierenden physikalischen Teil, der, wie gesagt, sehr ausführlich ist, seien hier noch die Überschriften der Kapitel wiedergegeben: Dichte (Ihre Bestimmungsmethoden). Viskosität (Viskosimeter). Brechungsindex und seine Messung. Farbe der Öle. Spektroskopie. Lösbarkeit. Überschüssige Spannung (Mathematische Theorie und Experimentierverfahren). Steifigkeit. Doppelbrechung. Kerr-Effekt (elektrische Doppelbrechung). Magnetische Doppelbrechung. Zufällige Doppelbrechung. Polarisationsprüfung. Mikroskopische Prüfung. Röntgenstrahlen. (Sogar ihre Erzeugung wird beschrieben!) Einfluß der Kälte auf die Öle. Verflüchtigung. Spezifische Wärme.

Abgesehen von den genannten „Schönheitsfehlern“ kann das Buch als Übersichtswerk gut empfohlen werden. *J. B.*

**Die Photographie in Wissenschaft und Praxis.** Ein Sammelwerk von A. E. Conrady, Ch. R. Davidson u. a. Autoris. Deutsche Ausg. von Alfred Hay. 8°. VIII, 532 S. m. 192 Textabb. u. 56 Taf. m. 108 Abb. als Anhang. Franz Deutike, Leipzig und Wien 1929. Geb. 35 RM.

12 hervorragende englische Fachleute haben sich zusammengetan, um eine Darstellung der allgemeinen und angewandten Photographie zu schaffen, die, wie das Vorwort sagt, weniger als Handbuch gedacht ist, sondern mehr als ausführlicher Leitfaden für den wissenschaftlich arbeitenden Photographen, wie auch für den photographisch interessierenden Wissenschaftler. Es berührt außerordentlich angenehm, wie sich hier eine leichtflüssige Darstellungsart, die das Lesen zur Freude macht, mit einer das Wesentliche und Bedeutsame heraushebenden Auffassung des Stoffes vereint; so ist ein Buch entstanden, das in gleicher Weise dem Anfänger in der Photographie wie auch dem weiter Fortgeschrittenen empfohlen werden kann. Besonders hingewiesen sei auf das 5. Kapitel (Astrophotographie), das 7. (Metallphotographie), 9. und 10. (Photogrammetrie und Luftbildwesen), Gebiete, wo es uns an knappen, guten Darstellungen nahezu fehlt. Ein kleiner Bilderatlas von etwa 50 Seiten beschließt das Werk, das durch seine vorzüglich deutsche Bearbeitung jedem an der Photographie Interessierten bestens empfohlen werden kann. *G. v. Kujawa.*

Nachdruck verboten.

Verantwortlich für die Redaktion: Oberregierungsrat Professor Dr. F. Göpel in Charlottenburg.
Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

*Kuratorium:*

Prof. Dr. E. Kohlschütter in Potsdam, Vorsitzender, Prof. Dr. R. Straubel in Jena,
Prof. Dr. F. Weidert in Berlin-Zehlendorf, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat i. R. Prof. Dr. F. Göpel in Charlottenburg-Berlin.

50. Jahrgang. **Dezember 1930.** Zwölftes Heft.

# Über die Dezimalgleichung beim Ablesen von Skalen.

Von
**Helmer Bäckström** in Stockholm.

(Schluß von Seite 624.)

## § 9. Die Berechnung des durchschnittlichen Fehlers einer ganzen Beobachtungsreihe.

Wenn die Fehlersummen $\Sigma \Delta_d$, wie im vorigen Abschnitt angegeben wurde, berechnet sind, so wird es eine einfache Aufgabe sein, den durchschnittlichen Fehler $(\Delta)$ der Beobachtungsreihe festzustellen. Dieser wird aus folgender Gleichung erhalten:

$$\Delta = \frac{\sum_{d=0}^{d=9} \Delta_d}{100}. \qquad 22)$$

Solche Fehlerwerte sind für die Reihen 1—10 berechnet und in der Tabelle 17 aufgeführt worden. Zum Vergleich wurden dabei auch die wirklich beobachteten durchschnittlichen Fehler angegeben. Wie aus Tabelle 17 ohne weiteres hervorgeht, zeigen die berechneten und beobachteten Werte sehr große Übereinstimmung. Die durchschnittliche Abweichung dieser Größen voneinander beträgt nur 0,00035 Skalenteile, also weniger als ein Hundertstel des Fehlerwertes selbst. Wir können in dieser Tatsache einen neuen Beweis dafür erblicken, daß die zufälligen Fehler nur einen sehr geringfügigen Einfluß bei den Dezimalschätzungen ausüben können.

Auch für zahlreiche andere Beobachter hat der Verfasser diese Fehlerwerte bestimmt. In der Tab. 18 sind einige solcher Werte angegeben, wobei zum Vergleich sowohl berechnete als beobachtete Fehler aufgenommen sind.

Es zeigt sich, daß auch bei diesen Reihen die Übereinstimmung zwischen beobachteten und berechneten Werten vollkommen befriedigend ist. Die Abweichungen dieser Werte voneinander sind je-

Tabelle 17. Berechnete und beobachtete durchschnittliche Fehler der Versuchsreihen 1—10; die Werte sind in Hundertsteln eines Intervalles angegeben.
Versuchsperson: Bm.

| Versuchsreihe | Durchschnittliche Fehler | |
|---|---|---|
| | Beobachtete Werte | Berechnete Werte |
| 1 | 4,86 | 4,84 |
| 2 | 5,34 | 5,30 |
| 3 | 5,32 | 5,25 |
| 4 | 5,44 | 5,39 |
| 5 | 5,40 | 5,45 |
| 6 | 5,70 | 5,67 |
| 7 | 5,30 | 5,30 |
| 8 | 5,60 | 5,61 |
| 9 | 5,22 | 5,16 |
| 10 | 5,04 | 5,06 |

Tabelle 18. Berechnete und beobachtete durchschnittliche Fehler bei Schätzungsreihen einiger verschiedener Beobachter. Die Fehler sind in Hundertsteln eines Intervalles angegeben.

| Versuchsreihe | Durchschnittliche Fehler | |
|---|---|---|
| | Beobachtete Werte | Berechnete Werte |
| 19 | 4,30 | 4,08 |
| 20 | 3,42 | 3,09 |
| 71 | 3,52 | 3,49 |
| 73 | 3,02 | 2,99 |
| 75 | 3,40 | 3,19 |
| 301 | 4,08 | 3,73 |
| 302 | 3,14 | 3,06 |
| 304 | 3,48 | 3,06 |

doch größer als bei der vorigen Tabelle. Im Durchschnitt betragen die Differenzen jetzt 0,0021 Skalenteile, also etwa 6 % der Fehlerwerte. Die Ursachen dieser größeren Abweichungen liegen darin, daß bei mehreren dieser Reihen einzelne erheblich falsche Schätzungen vorkommen. Diese zufälligen Fehler besitzen zunächst den Charakter von Nachlässigkeitsfehlern, sie beeinflussen selbstverständlich mehr die wirklich beobachteten als die berechneten Fehler. Bei den Versuchsprotokollen der Reihen 20, 301 und 304 wurde besonders notiert, daß solche Falschschätzungen vorgekommen waren. Diese Reihen zeigen auch die größten Abweichungen. Jedenfalls muß die erzielte Genauigkeit als genügend angesehen werden.

Da die subjektive Skaleneinteilung vollkommen symmetrisch ist, brauchen wir bei unseren Kartenreihen nur eine halb so große Anzahl von Schätzungen, als bisher benutzt wurde, um die durchschnittlichen Fehler zu bestimmen. Es würde z. B. genügen, nur die Einstellungen der einen Hälfte des Intervalles zum Gegenstand von Schätzungen zu machen. Statt dessen verfuhr der Verfasser in einigen Fällen, wo es wünschenswert erschien, den Umfang der Reihen zu beschränken, in folgender Weise: Von den Karten wurde je die zweite ausgewählt. An der einen Hälfte des Intervalles wurden dabei nur die Einstellungen mit ungeraden und an der anderen Seite der Intervallmitte nur die Einstellungen mit geraden Hundertsteln des Intervalles genommen. Die aus den Schätzungen einer solchen abgekürzten Reihe berechneten Fehlerwerte sind natürlich nicht so genau, wie die aus den längeren Reihen berechneten Werte. Die Genauigkeit muß aber als genügend angesehen werden.

Als Beispiele einiger derartiger Fehlerberechnungen aus abgekürzten Reihen sind in der Tab. 19 einige Fehlerwerte aufgenommen, denen Reihen von nur 50 Schätzungen zugrunde gelegt wurden. Die 100 Karten der Kartenreihe AB wurden dabei in zwei Gruppen geteilt, A bzw. B genannt, wonach der durchschnittliche Fehler der beiden Gruppen jeder für sich berechnet wurde. Zum Vergleich hiermit sind auch diesmal die wirklich gemachten Fehler in der Tabelle aufgenommen worden. Sämtliche Fehler sind in Hundertsteln eines Skalenintervalles angegeben.

Tabelle 19. Durchschnittliche Fehler bei einigen Versuchsreihen von je 50 Schätzungen; die Fehler sind in Hundertsteln eines Skalenintervalles angegeben.

| Versuchsreihe | Durchschnittliche Fehler | |
|---|---|---|
| | Beobachtete Werte | Berechnete Werte |
| 260 A | 3,6 | 3,9 |
| B | 3,8 | 3,8 |
| 261 A | 3,7 | 3,9 |
| B | 3,9 | 3,9 |
| 262 A | 3,5 | 3,7 |
| B | 3,8 | 3,9 |

Da die Genauigkeit dieser abgekürzten Reihen — wie aus der Tabelle zu ersehen ist — ziemlich bedeutend ist, so hat der Verfasser solche Teilreihen bei einigen Versuchen angewandt, wo jede Versuchsperson mehrere Reihen nacheinander auszuführen

hatte. Dies ermöglichte die Vornahme einer größeren Anzahl von Versuchen, als sonst bei der knappen Zeit der Versuchsperson zustande gekommen wären. Es handelt sich übrigens in den meisten dieser Fälle um wirklich beobachtete und nicht nur berechnete Fehler, was die Ergebnisse noch mehr erhärtet.

## § 10. Einige Bemerkungen über den Einfluß einer fehlerhaften Feststellung des Wertes $S_0$ auf die Genauigkeit des berechneten Fehlerwertes.

Wie in den vorigen Abschnitten gezeigt wurde, werden die Berechnungen der durchschnittlichen Fehler $m_d$ und $\Delta$ auf die Gültigkeit der Gl. 7) und 10) gegründet. Durch viele Beispiele wurde auch gezeigt, daß die in dieser Weise berechneten Werte vorzügliche Übereinstimmung mit den wirklich vorhandenen Fehlern zeigen. Trotzdem also vorläufig kein Anlaß vorliegt, den Einfluß einer fehlerhaften Feststellung des grundlegenden Wertes $S_0$ zu prüfen, hat der Verfasser eine solche Untersuchung ausgeführt. Da dieselbe interessante Aufschlüsse über die Ursachen zu der unerwartet guten Genauigkeit der berechneten Fehlerwerte gibt, soll hierüber an Hand eines Beispieles berichtet werden.

Das Beispiel wird in nahem Anschluß an die Reihen 1—10, d. h. an die Reihen der Versuchsperson Bm gewählt. Wir werden somit die folgenden Schätzungsfrequenzen und die daraus bedingte Einteilung (Tab. 20) annehmen. Die dort angeführten

Tabelle 20. Angenommene subjektive Einteilung des Skalenintervalles.

| Dezimalstelle | Schätzungsfrequenz in $^0/_0$ | Schätzungsgebiet | Dezimalverschiebung $S_d$ (in Skt $\times 10^{-2}$) |
|---|---|---|---|
| 0,1 | 6 | 0,07—0,12 | − 0,5 |
| 0,2 | 22 | 0,13—0,34 | + 3,5 |
| 0,3 | 9 | 0,35—0,43 | + 9,0 |
| 0,4 | 4 | 0,44—0,47 | + 5,5 |
| 0,5 | 5 | 0,48—0,52 | 0 |
| 0,6 | 4 | 0,53—0,56 | − 5,5 |
| 0,7 | 9 | 0,57—0,65 | − 9,0 |
| 0,8 | 22 | 0,66—0,87 | − 3,5 |
| 0,9 | 6 | 0,88—0,93 | + 0,5 |
| 1,0 | 13 | 0,94—1,06 | 0 |

Schätzungsgebiete der verschiedenen Dezimalen sind unter der Voraussetzung $S_0 = 0$ gegeben. Wir berechnen aber die verschiedenen Schätzungsgebiete und danach die durchschnittlichen Fehlerwerte $\Delta$ auch noch unter Annahme verschiedener anderer $S_0$-Werte. Dabei werden natürlich die Gl. 7) benutzt. Die Resultate dieser Berechnungen sind, was die $\Delta$-Werte betrifft, in der Tab. 21 zu sehen. Es ergibt sich, daß der durchschnittliche Fehler $\Delta$ seinen kleinsten Wert bei $S_0 = 0$ hat, wonach die $\Delta$-Werte bei Änderung des Wertes $S_0$ in der einen oder anderen Richtung wachsen. Vielleicht noch deutlicher geht dies aber aus der graphischen Darstellung dieser Ergebnisse in Abb. 15 hervor. Diese zeigt eine vollkom-

Tabelle 21. Berechnete durchschnittliche Fehler unter Annahme der in der Tabelle 20 angegebenen Schätzungsfrequenzen aber verschiedener $S_0$-Werte. Sämtliche Angaben der Tabelle sind in Hundertsteln eines Skalenintervalles gegeben.

| $S_0$ | $\Delta$ | $S_0$ | $\Delta$ |
|---|---|---|---|
| − 6 | 7,34 | 0 | 5,40 |
| − 4 | 6,31 | + 1 | 5,46 |
| − 2 | 5,64 | + 2 | 5,64 |
| − 1 | 5,46 | + 4 | 6,31 |
| 0 | 5,40 | + 6 | 7,34 |

men symmetrische Kurve. Eine gewisse Änderung des Wertes $S_0$ wird selbstverständlich nur eine ganz kleine Änderung des $\Delta$-Wertes bedingen, wenn $\Delta$ nahe am Minimum belegen ist. Im vorliegenden Beispiel wird eine so große Änderung des $S_0$-Wertes als von dem Wert 0 zu einem der Werte $\pm 1 \cdot 10^{-2}$ Skalenteile den $\Delta$-Wert nur von $\Delta = 0{,}0540$ zu $\Delta = 0{,}0546$ Skalenteile vergrößern. Der berechnete Wert des durchschnittlichen Fehlers $\Delta$ ist folglich sehr unempfindlich gegen mäßig große Änderungen des $S_0$-Wertes.

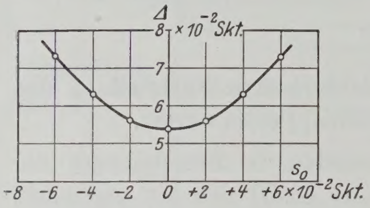



Abb. 15. Zusammenhang zwischen $\Delta$ und $S_0$ bei symmetrischer subjektiver Skaleneinteilung.

Bei unsymmetrischer Skala gelten diese Verhältnisse nicht mehr. Der Minimumwert des Fehlers wird nicht für $S_0 = 0$ gelten, sondern die Ordinatachse schneidet einen steileren Teil der Kurve. Der durchschnittliche Fehler wird deshalb auch empfindlicher gegen Änderungen in dem festgesetzten $S_0$-Wert. Es mag in diesem Zusammenhang auch bemerkt werden, daß W. Schmidt bei seiner Fehlerbestimmungsmethode einen Minimumwert sucht, was bei unsymmetrischer Einteilung (er arbeitet besonders mit Thermometerskalen) nicht geeignet ist. Betreffs dieser und verwandter Eigenschaften bei der unsymmetrischen Skala verweise ich auf Kap. XVII meiner Dissertation.

Nachdem der durchschnittliche Fehler $\Delta$ einer ganzen Beobachtungsreihe untersucht worden ist, sollen jetzt auch die entsprechenden Fehler $m_d$ der verschiedenen Dezimalen besprochen werden. Wir benutzen hierzu wieder die Frequenzen der Tab. 20.

Zuerst sei bemerkt, daß sämtliche Werte $S_d$ von einer Unsicherheit der Angabe $S_0$ beeinflußt werden. Ändert man den Wert $S_0$, so müssen sämtliche $S_d$-Werte um denselben Betrag geändert werden. Hieraus wird ersichtlich, daß ein kleiner Fehler der Angabe von $S_0$ auch die durchschnittlichen Fehler $m_d$ sämtlicher Dezimalen beeinflussen muß. Dies geht auch aus der Tab. 22 hervor, wo die Werte $m_d$ der Dezimale 0—5 bei verschiedenen $S_0$-Werten angegeben sind. Da die Verhältnisse zu beiden Seiten der Intervallmitte die gleichen sind, werden, wie soeben gesagt, nur die Dezimale 0—5 untersucht.

Tabelle 22. Durchschnittliche Fehler $m_d$ der verschiedenen Dezimalen, unter Annahme von verschiedenen $S_0$-Werten berechnet. Fehler und $S_0$-Werte sind in Hundertsteln eines Skalenintervalles angegeben. Die Schätzungsreihe entspricht einer symmetrischen subjektiven Einteilung des Intervalles. (Vgl. die Tab. 20 und 21.)

| $S_0$ | Durchschnittliche Fehler $m_d$ der Dezimale | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| — 8 | 8,0 | 8,5 | 6,4 | 2,3 | 2,5 | 8,0 |
| — 6 | 6,0 | 6,5 | 5,8 | 3,2 | 1,1 | 6,0 |
| — 4 | 4,5 | 4,5 | 5,5 | 5,0 | 1,6 | 4,0 |
| — 2 | 3,5 | 2,6 | 5,6 | 7,0 | 3,5 | 2,0 |
| — 1 | 3,3 | 1,9 | 5,8 | 8,0 | 4,5 | 1,4 |
| 0 | 3,2 | 1,6 | 6,1 | 9,0 | 5,5 | 1,2 |
| + 1 | 3,3 | 1,6 | 6,4 | 10,0 | 6,5 | 1,4 |
| + 2 | 3,5 | 1,9 | 6,9 | 11,0 | 7,5 | 2,0 |
| + 4 | 4,5 | 3,5 | 8,1 | 13,0 | 9,5 | 4,0 |
| + 6 | 6,0 | 5,5 | 9,6 | 15,0 | 11,5 | 6,0 |

Das Material der Tab. 22 wurde auch Gegenstand einer graphischen Darstellung in der Abb. 16. Die Kurven sind alle von der gleichen Grundform wie in Abb. 15. Die Minimumwerte liegen jedoch im allgemeinen nicht bei dem Wert $S_0 = 0$. Normalerweise werden nur bei den Dezimalen 0 und 5 die Minima dem Wert $S_0 = 0$ entsprechen. Nur hier werden wir also gleichartige Verhältnisse wie bei der Besprechung der $\Delta$-Kurven im Anfang dieses Paragraphen bekommen.

Bei allen übrigen Dezimalen geht die $m_d$-Achse keineswegs durch die Minima der Kurven. Eine kleine Unsicherheit des $S_0$-Wertes wird deshalb einen bedeutend

größeren Einfluß auf die berechneten $m_d$-Werte haben; dieser Einfluß ist jedoch von verschiedener Größe bei den verschiedenen Dezimalen, was sowohl aus der Tab. 23 als aus der Abb. 16 hervorgeht.

Tabelle 23. Die Änderung des durchschnittlichen Fehlers $m_d$ der verschiedenen Dezimalen beim Verschieben des $S_0$-Wertes um $\pm$ 0,01 Skalenteile. (Vgl. Tab. 22.)

| Dezi-mal-stelle | Die Änderung in $m_d$ beim Verschieben des Wertes $S_0$ mit | |
|---|---|---|
| | + 0,01 Skalenteilen | — 0,01 Skalenteilen |
| 0,0 | + 0,001 | + 0,001 |
| 0,1 | 0,000 | + 0,003 |
| 0,2 | + 0,003 | — 0,003 |
| 0,3 | + 0,010 | — 0,010 |
| 0,4 | + 0,010 | — 0,010 |
| 0,5 | + 0,002 | + 0,002 |
| 0,6 | — 0,010 | + 0,010 |
| 0,7 | — 0,010 | + 0,010 |
| 0,8 | — 0,003 | + 0,003 |
| 0,9 | + 0,003 | 0,000 |

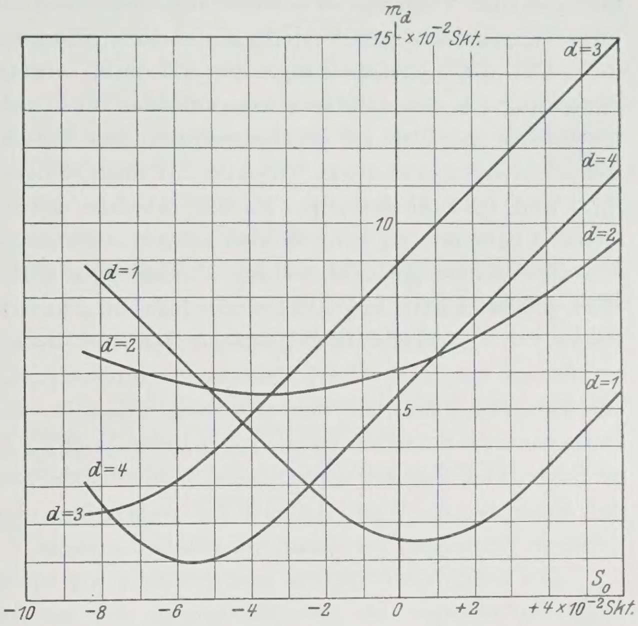



Abb. 16. Zusammenhang zwischen $m_d$ und $S_0$.

Es ergibt sich folgendes:

1. Je größer die Verschiebung $S_d$ ist, desto mehr weicht $m_d$ von seinem Minimumwert ab. Folglich wird eine Änderung des $S_d$-Wertes auch relativ große Änderungen des $m_d$-Wertes bedingen. Graphisch bedeutet dies, daß der Minimumpunkt der Kurve weit von der $m_d$-Achse gelegen ist, so daß diese Achse von einem steileren Teil der Kurve geschnitten wird.

2. Auch die Schätzungsfrequenz $n_d$ der Dezimale wirkt auf den Wert $m_d$ ein. Je größer der Wert $n_d$, desto ebener wird das Minimum, desto kleiner wird auch die Unsicherheit des $m_d$-Wertes sein. Dies geht auch deutlich aus Abb. 16 hervor. Bei der Dezimale 2, die in 22% sämtlicher Fälle geschätzt wurde, ist die Kurve sehr flach, während die Dezimale 4, die nur in 4% der Fälle geschätzt wurde, eine steilere Kurve zeigt.

Was die Verhältnisse der Dezimale 6—9 betrifft, so sind ihre $m_d$-Kurven Spiegelbilder zu den Kurven der komplementären Dezimalen. Man kann sich also leicht über diese Dezimalen durch die Kurven der Abb. 16 orientieren.

## § 11. Welchen Einfluß übt die Zahl der Beobachtungen auf die Dezimalfrequenzen? Einleitung zu einer Untersuchung über den Einfluß von ungleichmäßigen Einstellungen auf die berechneten Fehler.

Bei den bisherigen Berechnungen der verschiedenen Fehler gingen wir davon aus, daß die Skaleneinstellungen, die abgelesen wurden, wirklich gleichmäßig über das ganze Intervall verteilt waren. Infolge der gegebenen Verhältnisse beim Zustandekommen der hier angeführten Versuchsreihen galt diese Forderung mit großer Genauigkeit. Hierin haben wir auch die wesentlichste Ursache der guten Übereinstimmung zwischen berechneten und beobachteten Fehlerwerten. Bei Ablesungen an Instrumenten kann man eine solche gleichmäßige Verteilung der Einstellungen nicht

annehmen. Gewiß wird dieselbe um so gleichmäßiger, je länger die Beobachtungsreihe gewählt wird. Vollständige Gleichmäßigkeit können wir aber erst bei Reihen unbegrenzten Umfangs erwarten. Wir vermissen aber Aufschlüsse über die Folgen dieser ungleichmäßigen Verteilung der Einstellungen auf die berechneten Fehlerwerte.

Um diese letztere Frage zu erläutern, werden wir eine bestimmte subjektive Einteilung des Skalenintervalles annehmen und wählen hierfür die im vorigen Paragraphen in der Tab. 20 gegebene Form. Die Tabelle ergibt, daß die Versuchsperson alle Einstellungen zwischen 0,07 und 0,12 Skalenteilen als 0,1, die Einstellungen zwischen 0,13 und 0,34 Skalenteilen als 0,2 schätzte usw. Ist die wirkliche Instrumenteinstellung bekannt, so wird es also sehr einfach sein, den Fehler anzugeben, der von dem Beobachter gemacht wurde. Nimmt man z. B. bei einer gewissen Ablesung die tatsächliche Einstellung 0,34 Skalenteile an, so wird 0,2 geschätzt und somit ein Fehler von 0,14 Skalenteilen gemacht. Ist eine Reihe wirklicher Einstellungen bekannt, so können wir auch die „wirklichen“ durchschnittlichen Fehler berechnen, die von der Versuchsperson bei der Schätzung gemacht werden würden. Auf der anderen Seite wird es natürlich möglich sein, den in §§ 6, 8 und 9 dargelegten Grundsätzen zu folgen und dadurch einen „berechneten“ Fehlerwert zu finden. Durch Vergleichungen dieser beiden Werte können wir Aufklärung über den Einfluß von der ungleichmäßigen Verteilung der Einstellungen bekommen.

Die Frage wird folglich zunächst sein, wie wir eine Reihe zufälliger Einstellungen feststellen können. Da die Schätzungen nur mit einer Dezimale angegeben werden, muß es genügen, die Einstellungen mit einer Genauigkeit von zwei Dezimalen zu kennen. Wir haben nun 100 Einstellungsmöglichkeiten, nämlich 0,00, 0,01, 0,02, 0,03 Skalenteile usw. In welcher Weise wählt der Zufall unter diesen 100 Möglichkeiten? Um ein Urteil hierüber zu bekommen, wurden 100 kleine, vollkommen gleiche Papierstücke zugeschnitten und mit den Zahlen 0, 1, 2, . . . usw. bis zu 99 versehen. Diese Papierstücke wurden in eine geräumige Pappschachtel gelegt und dort durch Schütteln der Schachtel gemischt. Hiernach wurde ein Papierstück aus der Schachtel genommen und die vom Papierstück abgelesene Zahl notiert. Das Papierstück wurde dann zurückgelegt, mit den anderen wieder vermischt und danach ein neues Stück herausgenommen, seine Zahlenangabe notiert usw. Untersuchen wir später die Liste der Aufzeichnungen, so finden wir z. B., daß unter 100 Aufzeichnungen gewisse Zahlen mehrmals notiert worden sind, während andere nur ein einziges Mal notiert wurden oder gar vollkommen fehlen. Der Zufall wählt folglich sehr ungleichmäßig unter den Papierstücken. Eine Wiederholung des Versuches ergibt ähnliche Resultate, nur daß im großen und ganzen andere Zahlen vermißt oder bevorzugt werden.

Bei nacheinander folgenden Einstellungen eines Instrumentes können ähnliche Verhältnisse erwartet werden. Mehrere Einstellungen können an derselben Stelle des Intervalles geschehen, während andere Partien desselben nur wenige Einstellungen bekommen. Da dieselbe Wahrscheinlichkeit der Einstellungen sowohl beim Instrument wie beim Herausnehmen der Papierstücke wirksam ist, so können wir die Verhältnisse bei den Instrumenteinstellungen durch die Verhältnisse bei den Papierstücken ersetzt denken. Wir nehmen also z. B. an, daß die Wahl des Papierstückes 47 eine Skaleneinstellung 0,47 Skalenteile bedeutet. Es wird somit ersichtlich sein, daß wir uns des Protokolls über die erwähnten Papierstücke als Grundlage für Berechnungen der soeben angedeuteten Art bedienen können.

In dieser Weise wurden 16 Reihen (Nr. 351—366) von je 100 Beobachtungen ausgeführt. Jede Reihe wurde dann nach den besprochenen Grundsätzen behandelt,

wobei „berechnete“ und „beobachtete“ Fehler jeder Dezimale und jeder Reihe bestimmt wurden. Danach wurden zwei aufeinander folgende Reihen zu einer doppelten Reihe vereinigt und diese in derselben Weise bearbeitet. Es wurden somit 8 solcher Doppelreihen erhalten. Weiter wurden 4 einfache Reihen zu einer größeren Reihe von 400 „Einstellungen“ vereinigt und endlich 8 einfache Reihen zu einer Reihe von 800 „Einstellungen“ zusammengesetzt. Es wurde also möglich, den Veränderungen der Differenz zwischen berechneten und beobachteten Fehlern bei Änderung der Reihenlänge nachzugehen. Hierbei wurde der Umfang der Reihen zwischen 100 und 800 Beobachtungen geändert, ja, es war auch die Möglichkeit gegeben, durch Vereinigung sämtlicher Einzelreihen eine einzige Reihe von 1600 Beobachtungen zu bekommen.

Wir werden im nächsten Paragraphen die so erhaltenen Differenzen untersuchen. Hier werden wir an Hand der Tab. 24 nur feststellen, ob bei Ausdehnung der Reihe wirklich eine größere Gleichmäßigkeit der Einstellungen erhalten wird.

Tabelle 24. Die Variationen in den prozentualen Schätzungszahlen der verschiedenen Dezimale mit veränderter Reihenlänge.

| Anzahl der Schätzungen in einer Reihe | Anzahl der Reihen | Die Grenze der Variationen in den Schätzungszahlen bei den Dezimalen | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 1 und 9 | 2 und 8 | 3 und 7 | 4 und 6 | 5 |
| 100 | 16 | 8—23 | 2—12 | 14—30 | 4—15 | 0—8 | 2—10 |
| 200 | 8 | 8,5—20 | 4—9 | 17,5—28 | 5,5—12 | 1—7,5 | 4—8,5 |
| 400 | 4 | 11,7—16,5 | 4,3—7,7 | 18,5—23 | 6,8—10,0 | 2,3—5,2 | 5,2—6,7 |
| 800 | 2 | 11,7—14,9 | 5,6—7,4 | 20—22,5 | 7,0—9,6 | 3,3—4,9 | 5,7—6,3 |
| 1600 | 1 | (13,3) | 5,6—6,6 | 21,2—22,1 | 8,3—8,8 | 3,5—4,6 | (6,0) |
| ∞ | — | 13[1] | 6[1] | 22[1] | 9[1] | 4[1] | 5[1] |

Es zeigt sich, daß die Variationen in den Schätzungsfrequenzen der verschiedenen Dezimalstellen um so mehr vermindert werden, je länger die Reihe wird. Wir sehen auch, daß die schließlich erhaltenen Grenzwerte sich ziemlich eng den theoretisch geforderten Werten der Tab. 20 nähern. Die Abweichungen hiervon sind sehr klein und unzweifelhaft der geringen Anzahl der längeren Reihen zuzuschreiben. Es scheint deshalb zweifellos, daß unser Material die aufgestellten Bedingungen erfüllt.

## § 12. Über den Einfluß von ungleichmäßiger Verteilung der Einstellungen auf die Genauigkeit.

Nachdem wir soeben die schon früher bekannte Tatsache erläutert haben, daß bei geringer Anzahl von Einstellungen diese sehr ungleichmäßig über das Intervall verteilt sind, daß aber diese Ungleichmäßigkeit bei genügendem Vermehren der Einstellungen verschwindet, wollen wir jetzt den Einfluß dieser ungleichmäßigen Verteilung der Einstellungen auf die laut § 9 berechneten durchschnittlichen Fehler aufzuklären suchen. Als Ausgangsmaterial dienen uns die im vorigen Paragraphen angeführten Versuchsreihen Nr. 351—366.

In den Tab. 25 a) bis e) sind die „wirklich“ wahrgenommenen durchschnittlichen Fehler der Reihen 351—366 teils bei einzelnen Reihen, teils bei kombinierten Reihen von 200, 400, 800 und 1600 Schätzungen aufgeführt. Zum Vergleich sind auch die „berechneten“ Fehler und außerdem die Differenzen zwischen wahren und berechneten Werten angegeben. Diese Differenzen sind natürlich von der durch ungleichmäßige

[1] Theoretisch gefundene Werte (s. Tab. 20).

Verteilung der Einstellungen bedingten Unsicherheit verursacht. Bei den kurzen Reihen von nur 100 Schätzungen sind die berechneten Fehlerwerte ziemlich unsicher und weichen in einzelnen Fällen mehr als 50 % von den wahren Werten ab. Die Differenz zwischen berechneten und wahren Fehlern nimmt aber bei Ausdehnung der Reihenlänge sehr schnell ab.

Um dies noch ausgeprägter zu zeigen, ist in Tab. 26 eine Zusammenstellung der durchschnittlichen Differenzen bei verschiedenen Reihenlängen gegeben. In Abb. 17 wird außerdem der

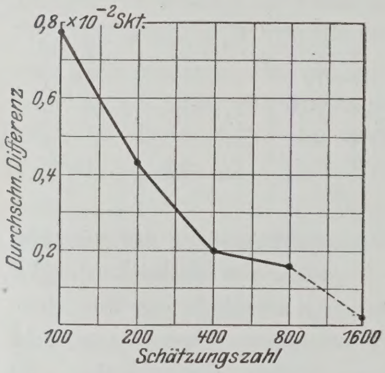



Abb. 17. Zusammenhang der Differenzen zwischen berechneten und beobachteten Fehlern mit der Anzahl der Schätzungen.

Zusammenhang dieser Größen graphisch dargestellt. Aus Abbildung und Tabelle geht hervor, daß die Differenz bei Reihen von 100 Schätzungen durchschnittlich 0,0079 Skt. betrug, bei Reihen 200 Schätzungen jedoch schon auf 0,0044 Skt. vermindert ist, usw. Da der wahre durchschnittliche Fehler 0,052 Skt. ist, so geht also hervor, daß die durch die ungleichmäßige Verteilung bedingte Abweichung des Fehlers schon bei einer Anzahl von durchschnittlich 200 Schätzungen unter 10 % des Fehlers sinkt.

Tabelle 25. Berechnete und beobachtete durchschnittliche Fehler bei Versuchsreihen verschiedener Länge. Die Fehler sind in Hundertsteln eines Skalenintervalles angegeben.

a) Versuchsreihen von 100 „Einstellungen".

| Versuchsreihe | Durchschnittliche Fehler | | |
|---|---|---|---|
| | Beobachtete Werte | Berechnete Werte | Differenz zwischen berechneten und beobachteten Fehlern |
| 351 | 5,09 | 4,45 | − 0,64 |
| 352 | 4,98 | 5,72 | + 0,74 |
| 353 | 5,29 | 6,35 | + 1,06 |
| 354 | 5,31 | 5,88 | + 0,57 |
| 355 | 4,83 | 4,92 | + 0,09 |
| 356 | 4,80 | 5,67 | + 0,87 |
| 357 | 5,00 | 6,09 | + 1,09 |
| 358 | 5,00 | 6,35 | + 1,35 |
| 359 | 6,08 | 6,58 | + 0,50 |
| 360 | 5,81 | 5,38 | − 0,43 |
| 361 | 5,43 | 5,30 | − 0,13 |
| 362 | 5,05 | 7,88 | + 2,83 |
| 363 | 5,66 | 5,88 | + 0,22 |
| 364 | 5,41 | 5,63 | + 0,22 |
| 365 | 4,73 | 6,14 | + 1,41 |
| 366 | 5,12 | 5,53 | + 0,41 |

b) Versuchsreihen von 200 „Einstellungen".

| Versuchsreihe | Durchschnittliche Fehler | | |
|---|---|---|---|
| | Beobachtete Werte | Berechnete Werte | Differenz zwischen berechneten und beobachteten Fehlern |
| 351—352 | 5,03 | 4,72 | − 0,31 |
| 353—354 | 5,30 | 5,77 | + 0,47 |
| 355—356 | 4,81 | 5,13 | + 0,32 |
| 357—358 | 5,00 | 6,09 | + 1,09 |
| 359—360 | 5,95 | 5,68 | − 0,27 |
| 361—362 | 5,24 | 5,75 | + 0,51 |
| 363—364 | 5,53 | 5,52 | − 0,01 |
| 365—366 | 4,93 | 5,50 | + 0,57 |

c) Versuchsreihen von 400 „Einstellungen".

| Versuchsreihe | Durchschnittliche Fehler | | |
|---|---|---|---|
| | Beobachtete Werte | Berechnete Werte | Differenz zwischen berechneten und beobachteten Fehlern |
| 351—354 | 5,17 | 5,16 | − 0,01 |
| 355—358 | 4,91 | 5,39 | + 0,48 |
| 359—362 | 5,59 | 5,40 | − 0,19 |
| 363—366 | 5,23 | 5,34 | + 0,11 |

Diese Verhältnisse gelten freilich zunächst nur für die Versuchsperson, deren subjektive Skaleneinteilung den Berechnungen zugrunde gelegt wurde. Wahrscheinlich werden die Größenverhältnisse im allgemeinen dieselben sein. Schon eine Reihenlänge von einigen hundert Beobachtungen dürfte also für eine einigermaßen gute Berechnung des durchschnittlichen Fehlers genügen.

W. Schmidt hat ebenfalls den Einfluß der ungleichmäßigen Verteilung der Einstellungen in seiner früher erwähnten Arbeit untersucht und kommt hierbei zu dem Resultat, daß etwa 300 Beobachtungen erforderlich sind, um diesen Einfluß zu eliminieren. Diese Zahl stimmt ja ziemlich gut mit der hier gefundenen überein. Schmidt gibt jedoch nicht an, welche Genauigkeit seiner Berechnung zugrunde gelegt wurde.

d) Versuchsreihen von 800 „Einstellungen".

| Versuchsreihe | Durchschnittliche Fehler | | |
|---|---|---|---|
| | Beobachtete Werte | Berechnete Werte | Differenz zwischen berechneten und beobachteten Fehlern |
| 351—358 | 5,04 | 5,24 | + 0,20 |
| 359—366 | 5,41 | 5,30 | − 0,11 |

e) Versuchsreihe von 1600 „Einstellungen".

| Versuchsreihe | Durchschnittliche Fehler | | |
|---|---|---|---|
| | Beobachtete Werte | Berechnete Werte | Differenz zwischen berechneten und beobachteten Fehlern |
| 351—366 | 5,22 | 5,23 | + 0,01 |

Tabelle 26. Durchschnittliche Differenzen zwischen berechneten und beobachteten durchschnittlichen Fehlern bei Versuchsreihen verschiedener Länge in $1 \cdot 10^{-2}$ Skt.

| Die Anzahl der Schätzungen in jeder Reihe | Die Anzahl der Versuchsreihen | Durchschnittliche Differenzen zwischen berechneten und beobachteten Fehlern |
|---|---|---|
| 100 | 16 | 0,79 |
| 200 | 8 | 0,44 |
| 400 | 4 | 0,20 |
| 800 | 2 | 0,16 |
| 1600 | 1 | 0,01 |

Tabelle 27. Die Differenzen zwischen berechneten und wirklichen durchschnittlichen Fehlern der verschiedenen Dezimalen bei verschiedener Reihenlänge in $1 \cdot 10^{-2}$ Skt.

a) Versuchsreihen von 100 Beobachtungen.

| Versuchsreihe | Differenzen zwischen berechneten und beobachteten Fehlerwerten der Dezimalen | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 351 | − 0,7 | + 0,3 | + 1,2 | − 0,9 | + 0,9 | + 2,6 | − 3,7 | − 5,8 | − 1,7 | + 0,5 |
| 352 | − 0,1 | + 1,0 | − 0,1 | − 3,7 | − 1,7 | + 0,9 | + 2,5 | + 4,5 | + 2,4 | + 0,8 |
| 353 | − 0,2 | + 1,9 | + 3,4 | + 6,2 | + 4,5 | + 2,0 | − 3,8 | − 3,0 | − 0,6 | − 0,2 |
| 354 | + 1,0 | + 0,5 | − 0,6 | − 2,4 | − 2,5 | + 3,3 | + 2,1 | − 3,0 | + 1,1 | + 0,3 |
| 355 | + 0,4 | − 0,5 | + 0,5 | + 0,7 | − 1,3 | + 1,6 | − 2,4 | − 1,1 | − 0,2 | − 0,9 |
| 356 | + 0,2 | + 3,0 | + 2,1 | + 1,7 | + 0,5 | − 0,1 | − 0,7 | − 0,8 | + 0,1 | + 0,4 |
| 357 | − 1,6 | + 2,7 | + 1,7 | − 2,4 | + 0,3 | + 0,3 | + 0,5 | + 2,7 | + 2,3 | + 1,3 |
| 358 | − 0,6 | + 1,3 | + 2,4 | + 4,5 | + 4,8 | + 6,0 | − 3,1 | − 4,8 | + 0,5 | + 1,5 |
| 359 | − 1,5 | + 1,6 | + 2,1 | + 4,0 | + 5,0 | + 2,5 | − 3,0 | − 3,4 | − 1,8 | + 0,2 |
| 360 | − 0,4 | − 0,3 | − 1,5 | − 4,1 | − 3,7 | + 2,3 | + 1,8 | + 0,1 | + 0,7 | + 0,4 |
| 361 | − 0,4 | + 0,1 | + 0,3 | − 1,4 | − 0,9 | + 0,4 | + 1,9 | + 0,8 | − 1,0 | + 0,5 |
| 362 | + 0,9 | − 0,2 | − 1,9 | − 6,6 | + 2,4 | + 9,7 | + 9,8 | + 8,4 | + 3,7 | + 2,0 |
| 363 | − 0,9 | + 1,1 | − 1,7 | − 4,3 | − 5,2 | + 3,2 | + 3,4 | + 3,0 | + 0,8 | + 0,1 |
| 364 | + 0,5 | + 1,0 | − 0,1 | + 2,2 | + 1,0 | − 0,7 | + 1,2 | − 0,4 | 0 | − 0,6 |
| 365 | + 2,1 | + 4,4 | + 2,1 | + 2,0 | + 1,0 | 0 | + 1,2 | − 1,1 | + 0,4 | + 2,0 |
| 366 | + 1,2 | + 0,1 | − 0,3 | + 1,7 | — | + 2,5 | − 3,3 | − 2,2 | − 0,1 | − 0,2 |

Es werden natürlich erheblich ausgedehntere Reihen erforderlich sein, damit der durchschnittliche Fehler jeder Dezimalstelle mit einiger Genauigkeit festgestellt werden kann. Dies geht schon aus der Tatsache hervor, daß die Anzahl der Schätzungen einer einzelnen Dezimalstelle durchschnittlich nur ein Zehntel sämtlicher Schätzungen beträgt.

Das zeigen die Tab. 27 a) bis e), eine Zusammenstellung der Differenzen zwischen berechneten und wahren Fehlern bei jeder einzelnen Dezimalen für Reihen wachsenden Umfangs. Es geht ohne weiteres daraus hervor, daß diese Differenzen ziemlich groß sind, wenn die Reihenlänge unbedeutend ist, aber bei ausgedehnteren Reihen schnell sinken.

b) Versuchsreihen von 200 Beobachtungen.

| Versuchsreihe | Differenzen zwischen berechneten und beobachteten Fehlerwerten der Dezimalen | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 351—352 | − 0,4 | + 0,5 | + 0,5 | − 2,1 | − 0,5 | + 0,9 | − 1,8 | − 1,4 | − 0,5 | + 0,2 |
| 353—354 | + 0,5 | + 1,2 | + 1,2 | + 1,9 | + 1,0 | + 0,3 | − 1,4 | − 1,3 | + 0,3 | 0 |
| 355—356 | + 0,3 | + 1,1 | + 0,8 | + 1,2 | 0 | + 0,9 | + 1,5 | − 1,0 | − 0,1 | − 0,3 |
| 357—358 | − 1,1 | + 2,0 | + 1,8 | + 0,9 | + 2,5 | + 2,9 | − 2,2 | − 1,1 | + 1,3 | + 1,5 |
| 359—360 | − 0,9 | + 0,7 | + 0,3 | − 0,1 | + 0,7 | − 0,2 | − 0,6 | − 1,7 | − 0,6 | + 0,3 |
| 361—362 | + 0,3 | − 0,5 | − 1,1 | − 6,1 | − 3,4 | + 4,9 | + 5,8 | + 4,6 | + 0,8 | + 0,1 |
| 363—364 | − 0,6 | + 1,0 | − 0,9 | − 0,9 | − 2,7 | + 0,7 | + 2,3 | + 1,3 | + 0,3 | − 0,5 |
| 365—366 | + 1,2 | + 1,9 | + 0,3 | + 1,7 | + 2,5 | + 0,8 | − 1,4 | − 1,7 | − 0,1 | + 0,6 |

c) Versuchsreihen von 400 Beobachtungen.

| Versuchsreihe | Differenzen zwischen berechneten und beobachteten Fehlerwerten der Dezimalen | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 351—354 | 0 | + 0,6 | + 0,6 | − 0,2 | + 0,1 | + 0,4 | − 1,8 | − 1,3 | − 0,2 | 0 |
| 355—358 | − 0,5 | + 0,3 | + 1,1 | + 1,2 | + 1,4 | + 1,2 | − 1,8 | − 1,0 | + 0,7 | + 0,2 |
| 359—362 | − 0,3 | − 0,3 | − 0,5 | − 3,0 | − 2,6 | + 1,3 | + 2,5 | + 1,4 | 0 | + 0,1 |
| 363—366 | + 0,6 | + 1,1 | − 0,4 | + 0,3 | − 0,6 | + 0,1 | + 0,4 | − 0,1 | − 0,1 | − 0,5 |

d) Versuchsreihen von 800 Beobachtungen.

| Versuchsreihe | Differenzen zwischen berechneten und beobachteten Fehlerwerten der Dezimalen | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 351—358 | − 0,2 | + 0,5 | + 0,8 | + 0,5 | + 0,7 | + 0,7 | − 1,9 | − 1,2 | + 0,2 | + 0,1 |
| 359—366 | + 0,1 | − 0,1 | − 0,6 | − 1,3 | − 1,6 | + 0,6 | + 1,5 | + 0,7 | + 0,1 | − 0,2 |

e) Versuchsreihe von 1600 Beobachtungen.

| Versuchsreihe | Differenzen zwischen berechneten und beobachteten Fehlerwerten der Dezimalen | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 351—366 | − 0,1 | + 0,3 | 0 | − 0,5 | − 0,4 | + 0,4 | − 0,1 | − 0,1 | − 0,2 | − 0,1 |

Um dies noch ausgeprägter zu zeigen, sind die Mittelwerte der Teiltabellen 27 a) bis e) in einer weiteren Tab. 28 aufgeführt. Außerdem sind die Tabellenwerte in den Abb. 18—22 graphisch dargestellt. Aus den Abbildungen und aus der Tabelle geht sehr deutlich hervor, wie schnell die Differenz mit der Ausdehnung der Reihe sinkt. Die durchschnittliche Abweichung des berechneten Fehlers sinkt im allgemeinen unter 0,01 Skt., wenn die Reihe mindestens 400—800 Beobachtungen beträgt.

Tabelle 28. Die Mittelwerte der Differenzen zwischen berechneten und beobachteten durchschnittlichen Fehlern bei Versuchsreihen verschiedener Länge in $1 \cdot 10^{-2}$ Skt.

| Anzahl der Beobachtungen jeder Reihe | Anzahl der Reihen | Durchschnittliche Differenzen zwischen berechneten und beobachteten Fehlerwerten der Dezimalen | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 100 | 16 | 0,8 | 1,2... | 1,4 | 3,1 | 2,4 | 2,4 | 2,8 | 2,8 | 1,1 | 0,7 |
| 200 | 8 | 0,7 | 1,1 | 0,9 | 1,9 | 1,7 | 1,5 | 2,1 | 1,8 | 0,5 | 0,4 |
| 400 | 4 | 0,3... | 0,6 | 0,7 | 1,2 | 1,2 | 0,7... | 1,6 | 0,9... | 0,2... | 0,2 |
| 800 | 2 | 0,1... | 0,3 | 0,7 | 0,9 | 1,1... | 0,6... | 1,7 | 0,9... | 0,1... | 0,1... |
| 1600 | 1 | 0,1 | 0,3 | 0 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,1 |

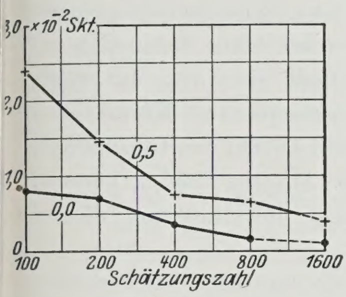


Abb. 18.

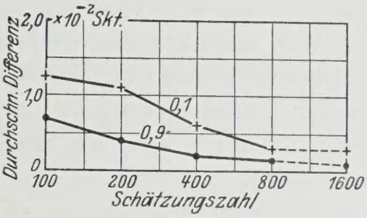


Abb. 19.

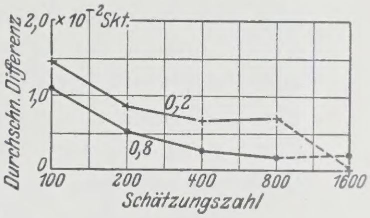


Abb. 20.

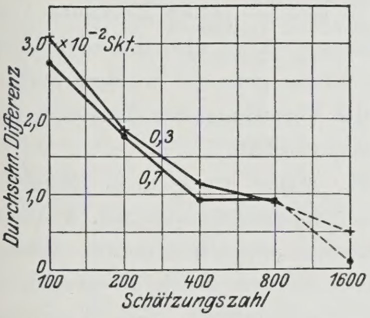


Abb. 21.

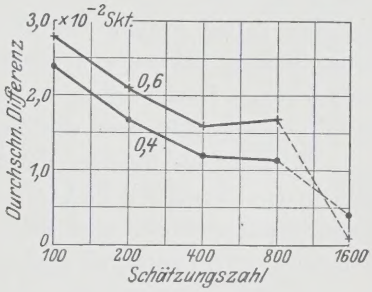


Abb. 22.

Soll indes die Unsicherheit der Fehlerangabe weniger als 10 % der Angabe selbst betragen, so müssen die Reihen noch ausgedehnter sein. Um dies zu zeigen, sind hier zunächst die theoretisch erwarteten Fehlerwerte angegeben. Für die betreffende Versuchsperson waren diese Werte:

| für Dezimale | durchschnittl. Fehler Skt. |
|---|---|
| 0 | 0,032 |
| 1 und 9 | 0,016 |
| 2 und 8 | 0,061 |
| 3 und 7 | 0,090 |
| 4 und 6 | 0,055 |
| 5 | 0,012 |

Werden diese Fehler mit den Werten der Tab. 28 verglichen, so bemerken wir, daß bei verschiedenen Dezimalen verschiedene Ausdehnung der Reihen erforderlich wird, um die Unsicherheit auf weniger als 10 % zu bringen. Die hierfür notwendige Ausdehnung wechselt zwischen etwa 400 Beobachtungen und mehr als 1600 Beobachtungen. Es scheint also, als ob etwa 2000 Schätzungen erforderlich sein würden,

damit die durchschnittlichen Fehler der verschiedenen Dezimalstellen mit genügender Genauigkeit berechnet werden können. Dies stimmt auch mit dem eben gefundenen Wert der erforderlichen Reihenlänge bei der Berechnung des $\Delta$-Wertes überein. Dieser Wert wurde zu etwa 200 Beobachtungen angegeben. Da aber die einzelnen Dezimalen etwa 10 mal seltener geschätzt werden, so ist es sehr wahrscheinlich, daß 2000 Beobachtungen hierfür erforderlich sein werden.

## § 13. Zusammenfassung.

1. Eine geschichtliche Übersicht gibt folgende Ergebnisse: Bei Dezimalschätzungen werden systematische Fehler gemacht, was seit langer Zeit bekannt ist. Dies zeigt sich darin, daß die verschiedenen Dezimalstellen verschiedene Schätzungsfrequenzen zeigen. Die eigentümliche Verteilung der Schätzungen auf verschiedene Dezimalen ergibt sich bei jeder Versuchsperson als sehr konstant, wechselt aber von der einen Versuchsperson zur anderen. Will man aus den Schätzungsfrequenzen Korrektions- oder Fehlerwerte berechnen, so bekommt man eine ungenügende Anzahl von Gleichungen und muß deshalb eine willkürliche Annahme machen, um die Aufgabe lösen zu können. Trotz einer sehr umfangreichen Literatur sind die bisherigen Resultate auf diesem Gebiet deshalb sehr unsicher gewesen.

2. Der Verfasser gibt eine Untersuchungsmethode an, die von den Unsicherheiten der älteren Methoden frei ist. Mit einer Teilmaschine wurden auf steifen weißen Karten Skalen gezogen, deren Mittelintervalle durch Indizes in gewisse genau bekannte Verhältnisse geteilt waren. Bei Schätzungen an diesen Karten waren also die wirklichen Einstellungen bekannt, weshalb keine willkürliche Annahme gemacht werden mußte. Verschiedene Kartenreihen wurden hergestellt, wobei die Verteilung der Einstellungen einer Versuchsreihe über das ganze Intervall gleichmäßig geschah.

3. Mehr als hundert Personen wurden untersucht. Dabei wurde u. a. folgendes gefunden: a) Verschiedene Dezimalen zeigen verschiedene Schätzungsfrequenzen. b) Diese Schätzungsfrequenzen sind bei verschiedenen Versuchsreihen einer bestimmten Person konstant. c) Im Intervall symmetrisch belegene Dezimalen werden gleich oft geschätzt.

4. Diese Verhältnisse sind während langer Zeit gleichbleibend. Eine Versuchsperson zeigte dieselbe Verteilung der Schätzungen auch nach mehr als zehn Jahren.

5. Mit verschiedenen Instrumenten wie auch mit den Kartenskalen erhaltene Frequenzverteilungen derselben Person sind einander im großen und ganzen ziemlich ähnlich, ohne jedoch vollkommen übereinzustimmen; die Verteilung beruht vielmehr auch auf dem Skalentypus.

6. Die Verteilung der Schätzungen an verschiedene Dezimalstellen ist bei verschiedenen Personen von verschiedenem Typus. Einige statistische Angaben über diese Tatsachen werden gegeben.

7. Die genannten Eigentümlichkeiten haben ihre Ursache in einer fehlerhaften Einteilung des Skalenintervalles, die jeder Versuchsperson eigen ist.

8. Die subjektive Einteilung des Intervalles ist vollkommen symmetrisch zu den Teilstrichen und dem Mittelpunkte des Intervalles.

9. Gleichungen werden aufgestellt, die eine Berechnung von Dezimalkorrektionen und durchschnittlichen Fehlern erlauben, wenn die Dezimalfrequenzen der Schätzungen bekannt sind. Die Übereinstimmung dieser berechneten Werte mit den wahren Verhältnissen ist außerordentlich groß.

10. Die Einflüsse von verschiedenen Fehlerquellen auf die Berechnungen werden besprochen. Besonders wird gezeigt, daß bei Schätzungen an wirklichen Instrumenten

etwa 200 Beobachtungen erforderlich sind, um eine gute Berechnung des durchschnittlichen Fehlers der Reihe zu erlauben. Wünscht man auch die durchschnittlichen Fehler der verschiedenen Dezimalstellen zu berechnen, so sind etwa 2000 Beobachtungen erforderlich.

11. Sämtliche hier besprochenen Ergebnisse beziehen sich auf „symmetrische" Skalen, d. h. Skalen, deren sämtliche Intervalle in Hinsicht auf die Intervallgröße, Strichdicke, Farbe usw., einander vollkommen gleich sind und wo der Index gleichartige Abgrenzung nach beiden Seiten besitzt.

## § 14. Literaturverzeichnis.

(Einige der hier genannten Arbeiten sind nur zur Vervollständigung der Besprechung früherer Arbeiten im § 1 angeführt, ohne jedoch dort erwähnt zu sein.)


Bäckström, H., (1). *Decimalskattningen vid avläsning av symmetriska skalor (with a summary in english).* Dissertation. 158 S. Stockholm 1928.

— (2). *Undersökningar rörande decimalskottning vid avläsning av skalor. Kosmos.* Stockholm. *6. S. 70—110. 1928.*

Bauch, M. (1). Psychologische Untersuchungen über Beobachtungsfehler. *Fortschr. d. Psych. u. ihrer Anw.* **1.** *S. 169—226. 1913.*

— (2). Beobachtungsfehler in der meteorologischen Praxis. *Fortschr. d. Psych. u. ihrer Anw.* **2.** *S. 246—253. 1914.*

Bessel, F. W., Persönliche Gleichung bei Durchgangsbeobachtungen. *Königsb. Beob., 8. Abt. S. 3—8. 1822.* Auch in seinen gesammelten Abhandlungen abgedruckt, **3.** *S. 300—304. 1876.*

Boccardi, J., *Remarques sur l'équation personelle décimale. Bull. astron.* **20.** *S. 382—389. 1903.*

Boquet, F. (1). *Recherches sur la valeur des observations de passages. Bull. astron.* **6.** *S. 337—343. 1889.*

— (2). *Sur l'équation décimale. Bull. astron.* **20.** *S. 165—170. 1903.*

Brück, P., *Documents relatifs a l'équation décimale. Bull. astron.* **7.** *S. 413—418. 1890.*

Chauvenet, W., *A manual of spherical and practical astronomy.* **2.** *S. 189 ff.* Philadelphia 1864.

Delboeuf, J., *Note sur certaines illusions d'optique. Bull. de l'acad. roy. des sciences de Belgique. (2).* **19.** *S. 195—216. 1865.*

Dorst, F. J. (1). Über die unveränderlichen Maßstäbe von Dennert und Pape in Altona. *Diese Zeitschr.* **6.** *S. 173—174. 1886.* (Mit Anmerkungen von A. Leman.)

— (2). Über die Größe der Beobachtungsfehler beim Ablesen eingeteilter Instrumente. *Diese Zeitschr.* **6.** *S. 383—387. 1886.*

Eggert, O., Die Zielweite beim Nivellieren. *Zeitschr. f. Vermessungsw.* **43.** *S. 249—252. 1914.*

Fischer, R., Größenschätzungen im Gesichtsfeld. *Archiv f. Ophtalmologie.* **37.** *S. 97—136. 1891.*

Fox, E., Über Beobachtungen an Theodoliten mit Schätzmikroskopen. *Mitt. a. d. Markscheidew. S. 1—15. 1916.*

Gonessiat, F. (1). *Sur quelques erreurs affectant les observations des passages. Comptes rendus.* **107.** Auch in *Bull. astron.* **6.** *S. 30—31. 1889.*

— (2), *Recherches sur les erreurs personnelles dans les observations de passages. Bull. astron.* **6.** *S. 471 bis 480. 1889.*

— (3). *Recherches sur l'équation personnelle dans les observations astronomiques de passages. Travaux de l'observatoire de Lyon.* **2.** *S. 1—167. 1892.*

Großmann, E., Über Schätzungen nach Augenmaß. *Astron. Nachr.* **170.** *Nr. 4066. 1905.*

Hartmann, J. (1). Einige Beobachtungen und Bemerkungen über Personaldifferenz (Auszug aus einem Aufsatz in *Grunerts Archiv der Math. u. Phys.* **31.** *S. 21 uf. 1858). Astron. Nachr.* **65.** *S. 129—144. 1865.*

— (2). Über die Ausmessung und Reduktion der photographischen Aufnahmen von Sternspektren. *Astron. Nachr.* **155.** *S. 81—118. 1901.*

Hellmann, G., Psychologisch bedingte Fehler bei meteorologischen Beobachtungen. *Sitzungsber. d. Berl. Akad.* **109.** *S. 283—294. 1913.*

Helmholtz, H. v., Handbuch der physiologischen Optik. 3. Aufl. **2.** *S. 30 uf.;* **3.** *S. 140 uf. 1910—1911.*

Kirkpatrick, P., *A Note on the Estimation of Tenths. Phys. Rev.* **19.** *S. 545. 1922.*

Kummer, G. (1). Genauigkeit der Abschätzen mittelst Nivellierfernrohres. *Zeitschr. f. Vermessungsw.* ***26.*** *S. 225—245; 257—275. 1897.*

— (2). Mitteilung von Beobachtungsergebnissen über die Schätzungs- und Kartierungsgenauigkeit an Maßstäben und Kartierungsinstrumenten. *Zeitschr. f. Vermessungsw.* ***36.*** *S. 531—541; 561—579; 593—607. 1907.*

Kundt, A., Untersuchungen über Augenmaß und optische Täuschungen. *Pogg. Ann.* ***30.*** *S. 118 bis 158. 1863.*

Kritzinger, *Sirius.* ***48.*** *S. 3 uf. 1915.* (Zitiert von Schulz und Lüdemann [6]).

Labitzke, P. (1). Über Halbierungsfehler bei optischen Einstellungen. *Deutsche Opt. Wochenschr. S. 49—50, 60—63. 71. 1917.*

— (2). Die instrumentellen Hilfsmittel zur Beseitigung der persönlichen Fehler bei astronomischen Durchgangsbeobachtungen. *Deutsche Opt. Wochenschr. S. 378—381, 396—398. 1917.*

— (3). Untersuchungen über psychologisch-physiologische Bisektionsfehler. *Diese Zeitschr.* ***44.*** *S. 61 bis 73, 155—172. 1924.*

Leman, A., Anmerkungen zu einer Mitteilung von Dorst (1). *Diese Zeitschr.* ***6.*** *S. 173. 1886.*

Lewitzky, G., Über den persönlichen Fehler bei Durchgangsbeobachtungen. *Astron. Nachr. Nr. 2959. 1890.*

— (2). Die systematischen Fehler bei den Durchgangsbeobachtungen. *Astron. Nachr. Nr. 2981. 1890.*

Lorber, Das Nivellieren. *S. 268 uf.*, Wien 1894. Zitiert von Reinhertz (3).

Lüdemann, K. (1). Über regelmäßigen Fehler bei Zehntelschätzungen, Teil I. *Mitt. d. Vereinig. v. Freunden der Astron. u. kosm. Phys.* ***26.*** *S. 1—11. 1916.*

— (2). Die kleinsten, mit Strichmikroskopen ausgestatteten Hildebrand-Theodolite. *Mitt. a. d. Markscheidewesen. S. 19—33. 1921.*

— (3). Der Ablesefehler bei Theodoliten mit Skalenmikroskopen. *Diese Zeitschr.* ***42.*** *S. 285—300. 1922.*

— (4). Über die zweckmäßige Einteilung und Größe des Teilkreises von Markscheidekompassen. *Mitt. a. d. Markscheidewesen. S. 10—15. 1922.*

— (5). Die unregelmäßigen Schätzungsfehler bei Strichmikroskopen. *Diese Zeitschr.* ***43.*** *S. 25. 1923.*

— (6). Über die mit dem Ausdruck „Dezimalgleichung“ bezeichnete Art von regelmäßigen Fehlern bei der Zehntelschätzung im Zentimeterfelde von Nivellierlatten. *Diese Zeitschr.* ***43.*** *S. 33 bis 50; 113—120. 1923.*

— (7). Über die Genauigkeit der Längenmessung mit Entfernungsmeßfäden bei einem mittleren Theodolit. *Diese Zeitschr.* ***47.*** *S. 33—44. 1927.*

Marten, W., Zur Frage der Bewölkungsschätzung. *Meteorol. Zeitschr.* ***28.*** *S. 184—187. 1911.*

Maskelyne, *Astronomical Observations made at the Royal Observatory at Greenwich.* ***3.*** *S. 339 usw. 1799.* — Siehe auch: Bessel, Abhandlungen. ***3.*** *S. 300 uf. 1876.*

Meißner, O., Über die Schätzung der Bewölkung. *Meteorol. Zeitschr.* ***28.*** *S. 39—41. 1911.*

Miller, E. R., *A test for Personal Error in Meteorological observations. Monthly Weather Rev.* ***43.*** *S. 275. 1915.*

Müller, C., Einiges über Beobachtungsfehler beim Abschätzen an Teilungen geodätischer Instrumente. *Fortschr. d. Psych. u. ihrer Anw.* ***4.*** *S. 1—33. 1916.*

Noetzli, A., Untersuchungen über die Genauigkeit des Zielens mit Fernröhren. Dissertation. Zürich 1915.

Obermayer, A. v., Die Häufigkeitszahlen der Bewölkung. *Sitzungsber. d. Math. Naturw. Klasse d. K. Akad. d. Wissensch., Wien.* ***117.*** *Abt. IIa, S. 217 uf. 1908.*

Peirce, B., *Personal Pecularities of Astronomical Observers. Proc. of the Amer. Acad. of Arts and Sciences.* ***4.*** *S. 197—199. 1859.*

Plaßmann, J. (1). Säkulare Veränderlichkeit der Dezimalgleichung. *Astron. Nachr.* ***197.*** *Sp. 107 bis 108. 1914.*

— (2). Säkulare Veränderlichkeit der Dezimalgleichung. *Astron. Nachr.* ***203.*** *Sp. 407—408. 1916 bis 1917.*

— (3). Säkulare Veränderlichkeit des Dezimalfehlers. *Zeitschr. f. Psych.* ***77.*** *S. 111—117. 1916—1917.*

— (4). Säkulare Veränderlichkeit des Dezimalfehlers. *Zeitschr. f. Psych.* ***85.*** *S. 307—308. 1920.*

Reinhertz, C. (1). Mitteilung einiger Beobachtungen über die Schätzungsgenauigkeit an Maßstäben, insbesondere an Nivellierskalen. *Nova Acta Kais. Leop. Carol. Akad. der Naturf.* ***62.*** *S. 93—194. 1894.*

— (2). Mitteilung einiger Beobachtungen über die Schätzungsgenauigkeit an Maßstäben, insbesondere

an Nivellierskalen. *Zeitschr. f. Vermessungsw.* **23.** *S. 593—624; 641—647; 665—677;* **24.** *S. 6 bis 10. 1894—1895.*

Reinhertz, C., (3). Über die Schätzungsgenauigkeit an Nivellierskalen. *Zeitschr. f. Vermessungsw.* **26.** *S. 111—119. 1897.*

— (4). Über die Ablesungsgenauigkeit an Nivellierskalen. *Zeitschr. f. Vermessungsw.* **26.** *S. 399 bis 403. 1897.*

Renqvist, Y., Versuche über Halbierung von horizontalen, vertikalen und schiefen Strecken. *Skand. Arch. f. Phys.* **42.** *S. 209—225. 1922.*

Schmidt, W., Schätzungsfehler bei Ablesungen meteorologischer Instrumente. *Diese Zeitschr.* **36.** *S. 169—183. 1916.*

Schottländer, E., Über regelmäßige Schätzungsfehler und die sie erzeugenden Faktoren. *Diese Zeitschr.* **43.** *S. 265—274. 1923.*

Schulz, H., Zur Physiologie des Messens. *Zeitschr. f. techn. Physik.* **1.** *S. 116—121; 129—137. 1920.*

Stampfer, S., Über die Genauigkeit des Visierens bei Winkelmessungen *Jahrb. d. k. k. polyt. Inst. in Wien.* **18.** *S. 211—236. 1834.*

Steen, A., Einige Studien über die Bewölkung. *Meteorol. Zeitschr.* **26.** *S. 49. 1909.*

Toussaint, Die Werkzeugmaschine. **22.** *S. 205. 1918* (zitiert von Schulz).

Walter, A., *On errors of estimation in thermometric observations. Quarterly Journ. of the Roy. Met. Soc.* **35.** *S. 249—256. 1909.*

Winterhalter, A. G., *A New Personal Equation Machine. Amer. Journ. of Science.* **37.** *1889.*

Volkmann, A. W. (1). Über den Einfluß der Übung auf das Erkennen räumlicher Distanzen. *Ber. d. Sächs. Gesellsch.* **10.** *S. 38—69. 1858.*

— (2). Über das Vermögen Größenverhältnisse zu schätzen. *Ber. d. Sächs. Gesellsch.* **10.** *S. 173 bis 204. 1858.*

— (3). Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik. Breitkopf & Härtel, Leipzig 1863 bis 1864. Besonders S. 117—139.

Wundt, W., Grundzüge der physiologischen Psychologie, S. 560 uf., Leipzig 1873.

Zinger, N., Über die persönlichen Fehler bei astronomischen Beobachtungen. Petersburg 1871. Zitiert von Lewitzki (1, 2).

---

# Die Bestimmung der elastischen Konstanten.

Von

**G. Berndt** in Dresden.

(Nach Beobachtungen von Dipl.-Ing. Fr. Grumbach.)

(Schluß von Seite 638.)

## E. Die unmittelbare Bestimmung des Übersetzungsverhältnisses.

### a) Beim Autokollimationsfernrohr.

Dazu wurde der in Abb. 9 schematisch wiedergegebene Apparat gebaut. In einer Führungshülse $F$ wurde ein längerer Bolzen $B$ mit einem guten Gleitsitz eingeschliffen (wobei er nur nahe seinen beiden Enden $e'$ und $e''$ trägt). Er läßt sich durch eine unten angebrachte Transportschraube $S$, deren Meßfläche sich gegen eine Stahlkugel $K$ legt, nach oben verschieben. Diese Verschiebung wird durch ein Optimeter $O$ gemessen. Leider war das Optimeter mit Ablesung auf 0,1 $\mu$ und Schätzung auf 0,01 $\mu$ (bei einem Meßbereich von etwa 0,17 mm) noch nicht zu erhalten, so daß das gewöhnliche Optimeter mit Ablesung auf $^1/_1$ $\mu$ und Schätzung auf $^1/_{10}$ $\mu$ benutzt werden mußte. Um eine größere Ablesegenauigkeit zu erreichen, wurde bei einem Teil der Versuche ein Hebel der ungefähren Übersetzung 1:10 vorgeschaltet, wodurch allerdings der Meßbereich von 0,20 auf 0,02 mm verkleinert wurde. Tatsächlich ist übrigens die Ablesegenauigkeit noch etwa vier mal höher als vorher angegeben, wenn man die Einstellung so vornimmt, daß der Index stets auf einen Strich eines vollen Skalenteils fällt. Der Hebel lag mit einer geschliffenen Walze in einem $V$-Prisma, eine Lagerung, die sich durch sehr gute Konstanz auszeichnet.

An den Kopf des Zylinders wird die Schneide des Martensschen Apparates $M$ angelegt, während sich die Meßbrücke unten an die Führungshülse stützt. Man erhält somit im wesentlichen dieselben Verhältnisse wie beim praktischen Gebrauch des Apparates und wird auch weitgehend unabhängig von der Abplattung der Schneiden durch den Meßdruck sowie von der Abnutzung der Schneidenkanten.

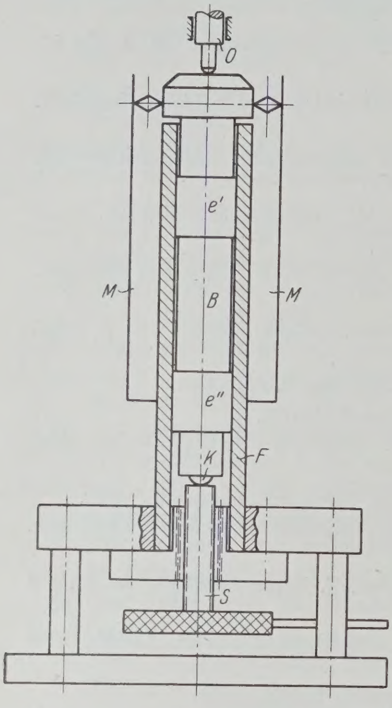


Abb. 9.

Die Messung der Verschiebung wurde mittels Fühlhebels und nicht durch unter die Kugel gelegte Endmaße vorgenommen, weil dabei der Kolben jedesmal hätte angelüftet werden müssen und dadurch Gefahr vorlag, daß die Meßgenauigkeit durch die Reibung vermindert wurde.

Die Bestimmung des Übersetzungsverhältnisses $u$ des Vorschalthebels erfolgte dagegen durch Endmaße am kurzen und Optimeter am langen Hebelarm. Wie bei den zur Bestimmung der Brennweite benutzten Endmassen wurden auch hier die Differenzen der betreffenden Stücke (vom Sollwert 1 mm — 7 $\mu$ bis 1 mm + 8 $\mu$) mit dem Interferenzkomparator gemessen, wobei sich folgende Werte ergaben:

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Differenz | 2,006 | 3,999 | 6,014 | 8,020 | 10,014 | 15,026 $\mu$ |
| mittl. Fehler | ± 12 | 9 | 13,5 | 13 | 27,5 | 25 m$\mu$. |

Die Soll-Differenzen von 2, 4, 6, 8, 10 bzw. 15 $\mu$ sind also sehr gut inne gehalten. Die Genauigkeit ist nicht so gut wie vorher, da die dünnen Endmaße, trotz Ansprengens an eine Quarzplatte, nicht so gut eben waren, so daß kleine Verschiebungen des Meßpunktes auf der Meßfläche bereits einen größeren Einfluß ausübten. Für derartige Zwecke ist es sehr empfehlenswert, dem sogenannten ± *My*-Satz nicht das Grundmaß 1 mm, sondern 5 mm oder noch besser 10 mm zu geben. Der Einfluß der Temperatur wird zwar dadurch 10 mal größer, er läßt sich aber bei einigermaßen guter Konstanz der Raumtemperatur doch auf einem unschädlichen Betrag halten, so daß der Vorteil der besseren Ebenheit der Meßflächen der stärkeren Endmaße bei weitem überwiegt.

Das Hebelarmverhältnis ergab sich so zu

$$1/u = 9{,}986 \pm 0{,}003 \quad (\sim 0{,}03\,\%).$$

Die Bestimmung des Übersetzungsverhältnisses $U$ des Martensschen Spiegelapparates ergab

$$\begin{aligned} &\text{ohne Hebel:} && 1\ \text{Skt} = 22{,}3890 \pm 14 \cdot 10^{-3}\ \text{m}\mu, \\ &\text{mit Hebel:} && 1\ \text{Skt} = 22{,}3895 \pm 6 \cdot 10^{-3}\ \text{m}\mu, \\ &\text{im Mittel:} && 1\ \text{Skt} = 22{,}39 \quad \pm 0{,}01\ \text{m}\mu. \end{aligned}$$

Damit wird

$$1/U = \frac{502 \cdot 10^{-5}}{22{,}39 \cdot 10^{-6}} = 224{,}2$$

und

$$\delta(1/U) = \pm 0{,}1\,.$$

Der Wert für $1/U$ weicht von dem im Abschnitt d berechneten etwas ab, da hier der Fernrohrauszug ein anderer war, dagegen ist die Genauigkeit in beiden Fällen die gleiche.

Zur Kontrolle wurde nun rückwärts aus dem gemessenen Übersetzungsverhältnis die Schneidenbreite $s$ berechnet. Aus Gl. 7) folgt:

$$s = 2 \cdot f \cdot U = \frac{2 \cdot 448{,}9 \cdot 22{,}39 \cdot 10^{-6}}{502 \cdot 10^{-5}} = 4{,}004 \text{ mm}, \qquad 31)$$

während die Messung auf dem UMM den Wert $s = 4{,}012$ mm geliefert hatte. Der Unterschied erklärt sich daraus, daß bei der Bestimmung von $U$ noch nicht auf den Fernrohrauszug geachtet war, die Unterschiede in der Fokussierung vielmehr erst später bestimmt wurden. Damit sich $s = 4{,}012$ mm ergibt, hätte der Auszug nicht, wie angenommen, um $+0{,}9$, sondern um $+1{,}8$ mm geändert werden müssen. Da für die Bestimmung der Längsdehnung und des Elastizitätsmoduls das AKF nicht weiter gebraucht wurde, ist eine erneute Eichung nicht mehr vorgenommen.

Bei Beachtung aller Vorsichtsmaßregeln würde sich der Fehler $\delta s$ von $s$ aus der Gleichung berechnen:

$$\delta s = \pm s \cdot \sqrt{\left(\frac{\delta f}{f}\right)^2 + \left(\frac{\delta U}{U}\right)^2} = \pm 4 \cdot \sqrt{\left(\frac{0{,}2}{450}\right)^2 + \left(\frac{0{,}1}{225}\right)^2}$$

$$= \pm \frac{4}{450} \cdot \sqrt{0{,}04 + 0{,}04} = \pm 0{,}0025 \text{ mm} = \pm 2{,}5\ \mu.$$

Die Genauigkeit reicht also nicht ganz an die durch die Komparatormessung erhaltene heran, würde aber immer noch ausreichend sein. Der Hauptvorteil der geschilderten Methode liegt indessen darin, daß man die Schneidenbreite überhaupt nicht zu kennen braucht.

### b) Mit Skalenfernrohr.

Bei den guten Ergebnissen, die die unmittelbare Bestimmung des Übersetzungsverhältnisses beim AKF gegeben hatte, lag es nahe, sie auch für das Skalenfernrohr zu benutzen. Es ergab sich

ohne Vorschalthebel: $1/U = 998{,}4$,
mit Vorschalthebel: $1/U = 998{,}6$,
im Mittel: $1/U = 998{,}5 \pm 0{,}3$,

also innerhalb der Fehlergrenze mit dem aus $s$ und $A$ berechneten Werte $1/U = 998{,}2 \pm 0{,}3$ übereinstimmend; auch die Genauigkeit ist in beiden Fällen die gleiche.

Berechnet man hieraus gleichfalls rückwärts die Schneidenbreite nach Gl. 31), so ergibt sich

$$s = \frac{2 \cdot 2002{,}3}{998{,}5} = 4{,}011 \text{ mm},$$

also in Übereinstimmung mit dem durch direkte Messung auf dem UMM erhaltenen Wert 4,012 mm, und ihr Fehler zu

$$\delta s = \pm 4 \cdot \sqrt{\left(\frac{0{,}2}{2000}\right)^2 + \left(\frac{0{,}3}{1000}\right)^2} = \pm \frac{4}{2000} \cdot \sqrt{0{,}04 + 0{,}36} = \pm 1{,}3\ \mu.$$

Der Fehler für $s$ ist nur unbedeutend größer als bei unmittelbarer Messung von $s$, was aber nicht ins Gewicht fällt, da man ja $s$ (und auch $A$) nicht zu kennen braucht. Falls später das empfindlichere Optimeter mit Ablesung auf $^1/_{10}\ \mu$ und Schätzung auf $^1/_{100}\ \mu$ zur Verfügung steht, wird sich voraussichtlich auch für $U$ noch eine etwas bessere Genauigkeit erreichen lassen.

## F. Die Bestimmung der Einschnürung mit dem Apparat von Sieglerschmidt.

### a) Der Apparat.

Zur Bestimmung der Einschnürung hat Sieglerschmidt (4) einen Apparat angegeben, der im Prinzip einen optischen Fühlhebel darstellt. Ein (für verschiedene Dicken der Probestäbe $S$ verstellbarer) Rahmen $R$ (Abb. 10) trägt den schneidenförmigen Amboß $a$ und den Hebel $K$ von $s = 1$ mm Länge, der sich mit einer Schneide $b$ gegen den Probestab, mit den Schneiden $c'$ und $c''$ in Kimmen im Rahmen $R$ legt. Die bei Belastung des Probestabs erfolgende Einschnürung bewirkt eine Kippung des Hebels $K$, die mit Hilfe des Spiegels $Sp_1$ beobachtet wird. Um die von einer etwaigen Kippbewegung des Rahmens $R$ im Raume herrührenden Fehler auszuschalten, ist an $R$ ein Spiegel $Sp_2$ angebracht, dessen Kippungen noch mit einem zweiten Skalenfernrohr beobachtet werden. Der Rahmen $R$ ist mittels Spiralfedern an einem oberhalb am Stabe befestigten Halter aufgehängt (wie in Abb. 16). Die Schneidenbreite $s$ wird mittels Hebelübersetzung und Martensschen Apparates bestimmt. Damit sich die Schneiden $a$ und $b$ nicht in den Stab eindrücken, legen sie sich nicht direkt gegen ihn, sondern in die Kimmen zweier Zwischenstücke $Z$ (Abb. 16), die mit je zwei Halbzylindern tangierend am Stabe anliegen.

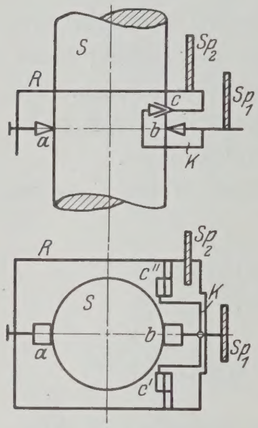



Abb. 10.

Die Vorrichtung kann man auch als einen Martensschen Apparat mit kleinerer Schneidenbreite betrachten, bei dem die Länge der Meßbrücke durch den Durchmesser $d$ des Probestabs gegeben ist. Sein Übersetzungsverhältnis wird nach Gl. 6) bei $A = 2000$ mm

$$U = \frac{s}{2A} = 1:4000,$$

so daß bei Schätzung auf 1/10 Skt. die Ablesegenauigkeit 25 m$\mu$ beträgt.

Die größte bei den Versuchen von Sieglerschmidt aufgetretene Abweichung zwischen zwei Beobachtungen betrug 0,3 Skt., entsprechend 75 m$\mu$.

Rechnet man bei Bestimmung der Längsdehnung $\varepsilon'$ mit einer Länge der Meßbrücke von 200 mm, bei der der Einschnürung $\varepsilon''$ mit einem Stabdurchmesser von $d = 20$ mm und nimmt man die Poissonsche Zahl $m = 0{,}25$ bis $0{,}33$ an, so beträgt die Durchmesserverringerung $\lambda''$ nur $^1/_{80}$ bis $^1/_{60}$ der Verlängerung $\lambda'$. Da nun die Übersetzung nur auf das 4-fache gesteigert ist, so erhält man für $\lambda''$ 20 bis 15 mal kleinere Ausschläge als für $\lambda'$ (bei gleicher Belastung).

Es wäre deshalb sehr erwünscht, wenn das Übersetzungsverhältnis in diesem Betrage weiter erhöht würde. Eine wesentliche Verkürzung von $s$ bereitet sehr große Schwierigkeiten; ebenso dürfte eine Vergrößerung von $A$ im allgemeinen nicht in Frage kommen, da dann die $^1/_{10}$ Skt. nicht mehr mit Sicherheit geschätzt werden können.

Ein wesentlicher Fortschritt läßt sich nun auch hier durch Benutzung des AKF erzielen, da dadurch nach Abschnitt D die Genauigkeit um das 5-fache gesteigert wird. Verringert man dann noch den kurzen Hebelarm auf $^1/_2$ mm, so käme man auf eine 10-fach größere Genauigkeit, so daß dann $\lambda''$ überschlagsweise nur noch den doppelten Fehler von $\lambda'$ aufweisen würde.

b) Fehler des Einschnürungsmessers.

1. Der in Abschnitt Ba behandelte Übersetzungsfehler spielt hier keine Rolle, da die größte Einschnürung nur etwa 5 $\mu$ und somit der größte Ausschlag $5 \cdot 10^{-3} \cdot 4000 = 20$ mm beträgt. Für etwaige größere Ausschläge wäre er nach Gl. 9), 10) und 8b) zu berechnen,

2. Ebenso verschwindet die Korrektion $C$, die dadurch entsteht, daß der Spiegel in der Anfangslage nicht senkrecht zur Fernrohrachse steht. Mit $n'' = 20$, $n' = 10$ wird

$$C = \frac{n' \cdot (n' + n'')}{A^2} = \frac{300}{4 \cdot 10^6} = 0{,}75 \cdot 10^{-4}.$$

3. Bei der Messung bewegt sich der Hebel $MA$ (Abb. 11) nicht längs der Geraden $AB$, sondern auf dem Bogen $\widehat{AC}$. Dadurch tritt ein Fehler

$$\delta = \widehat{AC} - AB = s \cdot (\alpha - \sin \alpha) = \frac{s \cdot \alpha^3}{6} \qquad 32)$$

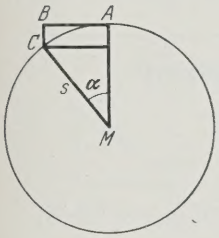


Abb. 11.

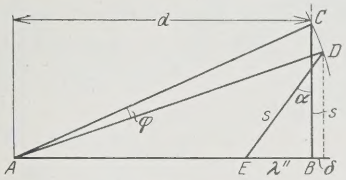


Abb. 12.

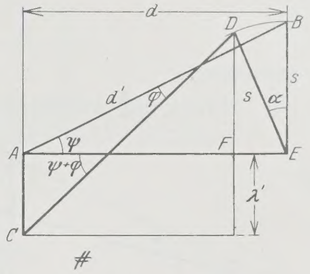


Abb. 13.

auf. Mit $AB = 5\ \mu$, $s = 1$ mm wird $\delta = 0{,}02\ \text{m}\mu$ und ist somit zu vernachlässigen.

4. Bei der Einschnürung $\lambda''$ gehen der Hebel $s$ (Abb. 12) und der Rahmen aus der Lage $ABC$ in die Lage $AED$ über. Wie in Abschnitt Bc ergibt sich

$$\alpha = \frac{\lambda'' + \delta}{s}, \qquad \varphi = \frac{\delta}{s}.$$

Gemessen wird der Winkel $\alpha - \varphi = \frac{\lambda''}{s}$,

somit ist

$$\lambda'' = s \cdot (\alpha - \varphi) = s \cdot \frac{(n' - n'')}{2A}, \qquad 34)$$

wobei $n'$ und $n''$ die Ablesungen an den beiden Skalenfernrohren sind. Der durch die Drehung der Meßbrücke beim Martensschen Apparat hervorgerufene Fehler verschwindet hier, da der Winkel $\alpha - \varphi$ beobachtet wird.

5a. Voraussetzung für richtige Anzeige ist ferner, daß die Zwischenstücke $Z$ (in Abb. 16) genügend fest mit dem Stabe verbunden sind und bei seiner Dehnung mitgehen. Behält etwa das Stück bei $B$ seine Lage im Raume bei, während sich das bei $A$ um die Verlängerung $\lambda'$ (Abb. 13) verschiebt, so geht der Rahmen $AB$ in die Lage $CD$ und die Schneide $EB$ in die Lage $ED$ über. Aus dem Dreieck $DEF$ folgt

$$\alpha = \frac{EF}{s} = \frac{d' \cdot \cos \psi - d' \cdot \cos(\psi + \varphi)}{s} = \frac{d' \cdot \varphi \cdot \psi + \frac{1}{2} d' \cdot \varphi^2 \cdot \cos \psi}{s}.$$

Da

$$\psi = \frac{s}{d'},$$

so wird

$$\alpha = \varphi + \frac{1}{2} \cdot \frac{d' \cdot \varphi^2}{s}$$

und

$$\alpha - \varphi = \frac{1}{2} \cdot \frac{d' \cdot \varphi^2}{s} .$$

Nun ist

$$\psi + \varphi = \frac{s + \lambda'}{d'} ,$$

also

$$\varphi = \frac{\lambda'}{d'} \approx \frac{\lambda'}{d} ,$$

somit

$$\alpha - \varphi = \frac{1}{2} \cdot \frac{\lambda'^2}{s \cdot d'} \approx \frac{1}{2} \cdot \frac{\lambda'^2}{s \cdot d} . \qquad 34\text{a)}$$

Es wird also eine scheinbare Einschnürung

$$\lambda'' = s \cdot (\alpha - \varphi) = \frac{1}{2} \cdot \frac{\lambda'^2}{d} \qquad 34\text{b)}$$

gemessen.

Liegt die Aufhängung 50 mm über dem Rahmen, so wird maximal

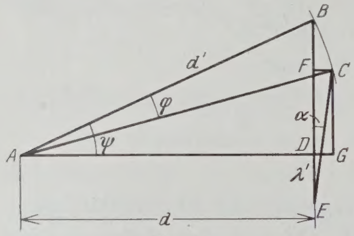



Abb. 14.

$$\lambda' = \frac{100 \cdot 50}{200} = 25\ \mu$$

und somit

$$\lambda'' = \frac{1}{2} \cdot \frac{625 \cdot 10^{-6}}{20} = 16\ \text{m}\mu \sim 0{,}3\,\%,$$

was vernachlässigt werden kann, zumal nie damit zu rechnen ist, daß der Stab die Zwischenstücke so ungleichmäßig mitnimmt.

5b. Bleibt umgekehrt die Schneide $b$ stehen und geht nur $a$ mit dem Stabe mit, so schwenkt der Rahmen (Abb. 14) von $AB$ nach $AC$ und die Schneide $s$ von $DB$ nach $EC$. Es ist

$$\alpha = \frac{CF}{s} = \frac{d' \cdot \cos(\psi - \varphi) - d' \cdot \cos\psi}{s} = \frac{d' \cdot \varphi \cdot \psi - \frac{1}{2} \cdot d' \cdot \varphi^2 \cdot \cos\psi}{s} = \varphi - \frac{1}{2} \cdot \frac{d' \cdot \varphi^2}{s} . \qquad 35)$$

Da

$$\psi - \varphi = \frac{CF}{d'} \approx \frac{s - \lambda'}{d'}$$

und somit

$$\varphi = \frac{\lambda'}{d'} ,$$

so tritt ein Fehler gleicher Größe wie vorher, nur mit entgegengesetztem Vorzeichen auf.

### c) Einfluß der Temperatur.

Es ergeben sich nahezu dieselben Verhältnisse wie in Abschnitt Bd für eine Meßbrücke aus Stahl. da $F''/G''$ etwa auch einen Wert von 1 hat (s. Abschnitt G), so daß auf die früher gemachten Ausführungen verwiesen werden kann.

## G. Der Versuchsapparat.

### a) Der Apparat.

Für die eigenen Versuche wurde der Einschnürungsmesser von Sieglerschmidt dahin abgeändert, daß der Fühlhebel vom Minimeter (mit Spiegel) genommen wurde, um eine Neuanfertigung zu ersparen. Er unterscheidet sich dadurch von dem ge-

nannten, daß der Hebel $M$ (Abb. 15) die Kimmen trägt. In diese legt sich einmal die an dem Rahmen $R$ feste (zweiteilig ausgeführte) Schneide $S_D$, ferner die Stelze $St$, die mit ihrem kegligen Ende $b$ in der Körnung des Zwischenstücks $Z$ (Abb. 16) ruht. Der Zusammenhalt wird durch die Federn $F_2$ gesichert. Da bei Erschütterungen der Hebel $M$ durchschlug, wurde die Stelze noch durch eine Bohrung in einem dünnen Blech geführt. Die Art der Anbringung des ganzen Apparates ist aus Abb. 16 zu ersehen.

Der Versuchsapparat hat den Vorteil, daß man die Länge $s$ des kleinen Hebels innerhalb weiter Grenzen beliebig einstellen und bis auf 0,1 mm verringern kann, wie

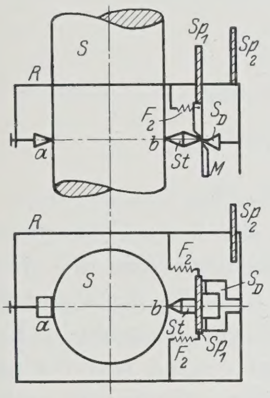



Abb. 15.

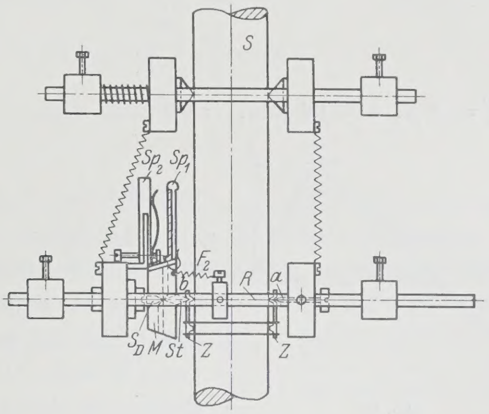



Abb. 16.

dies z. B. bei dem Minimeter der Übersetzung 1 : 1000 geschieht. Bei der praktischen Erprobung zeigte es sich indessen, daß es infolge der vorhandenen Störungen keinen Zweck hatte, die Hebellänge weitgehend zu verkürzen, vielmehr empfahl es sich, die größtmögliche Länge von $s = 1{,}4$ mm zu wählen, da das bei den Versuchen verwendete AKF (an Stelle des von Sieglerschmidt benutzten Skalenfernrohrs) eine genügende Ablesegenauigkeit lieferte. Auf die Nachteile des Versuchsapparates wird später eingegangen werden.

### b) Fehler des Versuchsapparates.

1. Die Übersetzungsfehler sind, wie früher für das AKF ausgeführt wurde, zu vernachlässigen, wenn auch hier die Schneide nur eine Länge von 1,4 mm (statt 4 mm) hat.

2. Steht der Spiegel in der Ausgangsstellung nicht senkrecht zur Fernrohrachse und wählt man $n' = 100$ Skt., $n'' = 1000$ Skt., so wird, da 1 Skt. $\approx \frac{1}{2}\,\mu$, die Korrektion nach Gl. 11)

$$C = \frac{100 \cdot 1000}{450^2} \cdot \frac{1}{4} \cdot 10^{-6} = 12{,}5 \cdot 10^{-6}$$

und ist also auch hier ohne Bedeutung.

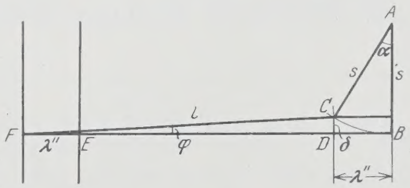



Abb. 17.

3. und 4. Bei der Einschnürung $\lambda''$ verschiebt sich der Punkt $E$ der Stelze (Abb. 17) nach $F$ und dreht sie sich um den Winkel $\varphi$ in die Lage $FC$, während sich der Hebel $AB$ durch Drehung um den Winkel $\alpha$ nach $AC$ bewegt. Irgendeine merkliche Vertikalkraft sollte dabei auf den Rahmen nicht ausgeübt werden.

Durch die Kippung der Stelze wird die Einschnürung $\lambda''$ um einen Betrag $\delta$ falsch gemessen. Es ist

$$\delta = l - l \cdot \cos\varphi = \frac{1}{2} l \cdot \varphi^2,$$

$$\varphi = \frac{CD}{l} = \frac{s - s \cdot \cos\alpha}{l} = \frac{1}{2} \cdot \frac{s}{l} \cdot \alpha^2,$$

$$\alpha \approx \frac{\lambda''}{s},$$

also

$$\varphi = \frac{1}{2} \cdot \frac{\lambda''^2}{s \cdot l},$$

$$\delta = \frac{1}{8} \cdot \frac{\lambda''^4}{s^2 \cdot l}. \qquad 35)$$

Mit $\lambda'' = 5\ \mu$, $s = 1{,}4$ mm, $l = 8$ mm, wird

$$\delta = 5 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{m}\mu,$$

was stets zu vernachlässigen ist.

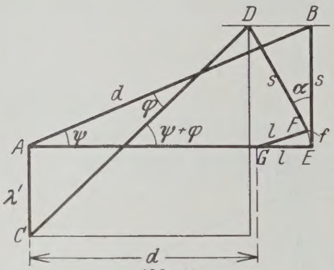


Abb. 18.

5a. Wird, wie vorher, durch die Verlängerung des Stabes die Schneide $a$ mitgenommen (Abb. 18), während $b$ an ihrer Stelle $B$ verharrt, so bleibt der Punkt $B$ sehr angenähert auf der Horizontalen und geht der Rahmen von $AB$ nach $CD$, die Stelze von $GE$ nach $GF$ und der Hebel von $EB$ nach $FD$ über. Analog wie vorher ist

$$\alpha = \frac{BD - f}{s} = \frac{d' \cdot \cos\psi - d' \cdot \cos(\psi + \varphi) - f}{s} = \frac{d' \cdot \varphi \cdot \psi + \frac{1}{2} \cdot d' \cdot \varphi^2 \cdot \cos\psi - f}{s}$$

und, da

$$\psi = \frac{s}{d'},$$

$$\alpha = \varphi + \frac{1}{2} \cdot \frac{(d + l) \cdot \varphi^2}{s} - \frac{f}{s}.$$

Nun ist

$$\psi + \varphi = \frac{s + \lambda'}{d'},$$

also

$$\varphi = \frac{\lambda'}{d'},$$

somit

$$\alpha - \varphi = \frac{1}{2} \cdot \frac{(d + l) \cdot \lambda'^2}{s \cdot d'^2} - \frac{f}{s} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\lambda'^2 \cdot \cos^2\psi}{(d + l) \cdot s} - \frac{f}{s} \approx \frac{1}{2} \cdot \frac{\lambda'^2}{(d + l) \cdot s}.$$

Die beobachtete scheinbare Einschnürung wird

$$\lambda'' = s \cdot (\alpha - \varphi) = \frac{1}{2} \cdot \frac{\lambda'^2}{d + l}. \qquad 36)$$

Der Fehler wird somit noch etwas kleiner als in Abschnitt Fb, nämlich

$$\lambda'' = \frac{1}{2} \cdot \frac{625 \cdot 10^{-6}}{28} = 12\ \mathrm{m}\mu.$$

5b. Bleibt dagegen Schneide $a$ stehen und wird $b$ mitgenommen, so bleibt der Rahmen $AB$ (Abb. 19) im wesentlichen in seiner Lage; die Stelze $CE$ geht nach $FD$, der Hebel $BC$ nach $BD$. Dieser Fall entspricht dem in Abb. 5 (Abschnitt Bb) be-

trachteten. In der dort gegebenen Ableitung sind nur $l$ und $s$, sowie $\varphi$ und $\alpha$ zu vertauschen. Somit wird

$$\alpha = \frac{1}{2} \cdot \frac{l}{s} \cdot \varphi^2,$$

und da

$$\varphi \approx \frac{\lambda'}{l},$$

so wird

$$\alpha = \frac{1}{2} \cdot \frac{\lambda'^2}{s \cdot l}.$$

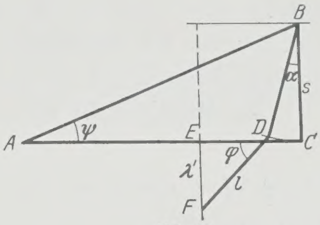


Abb. 19.

Man mißt somit eine scheinbare Einschnürung

$$\lambda'' = s \cdot \alpha = \frac{1}{2} \cdot \frac{\lambda'^2}{l}. \qquad 37)$$

Mit $\lambda' = 25\ \mu$, $l = 8$ mm wird

$$\lambda'' = \frac{1}{2} \cdot \frac{625 \cdot 10^{-6}}{8} = 39\ \mathrm{m}\mu.$$

Hier könnte also ein Fehler von 0,8 % auftreten, der aber auf einen unschädlichen Betrag sinkt, wenn man für gute Mitnahme der Zwischenstücke sorgt.

Die Ausführungen zeigen also, daß im wesentlichen die etwa möglichen Fehler bei beiden Apparaten von gleicher Größe und praktisch ohne Einfluß sind bzw. durch geeignete Ausbildung des Apparates auf einen unschädlichen Betrag gebracht werden können.

### c) Einfluß der Temperatur.

Da der Apparat im wesentlichen aus Stahl besteht, gelten hierfür die früher für den Fall der Meßbrücke aus Stahl gemachten Ausführungen. Für den Versuchsapparat war $F''/G'' = 0{,}9$. Damit wird $Z_2 = Z_2' = 25$ Min., die maximale Temperaturdifferenz von Stab und Apparat $\delta t = t' - t'' = 0{,}528 - 0{,}203 = 0{,}33^0$ und die maximale Längenänderung $\delta d = 75\ \mathrm{m}\mu$ (für $T = 1^0$ und $d = 20$ mm). Durch geeignete Anordnung der Beobachtungen läßt sich auch hier der Einfluß der Temperatur weit unterhalb der Meßgenauigkeit halten.

### d) Eichung des Apparates.

Die Eichung erfolgte aus den früher für den Fall des AKF angegebenen Gründen nicht durch Bestimmung des Hebelarms $s$ und der Brennweite $f$, vielmehr wurde unmittelbar das Übersetzungsverhältnis ermittelt, oder, genauer gesagt, der Wert eines Trommelteils des SchM in m$\mu$. Zu dem Zweck wurde der optische Fühlhebel nach Abb. 20 auf einer Platte montiert und vor die Stelze *St* der übliche Meßbolzen *B* des Minimeters geschaltet. Zwischen seine kleine ebene Endfläche und einen kugligen Anschlag *K* wurden dieselben Endmaße gebracht, die auch zur Bestimmung des Hebelarmverhältnisses in Abschnitt E a gedient hatten. Der mittlere Fehler bei Beobachtungen mit einem Endmaß betrug ± 1 Skt., der maximale ± 4 Skt.

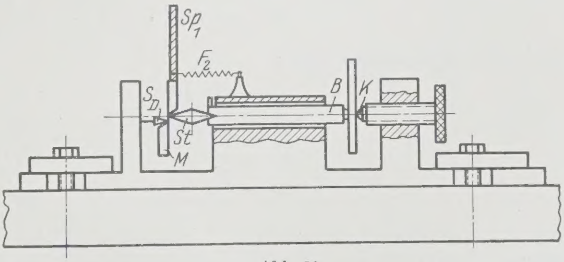


Abb. 20.

Die zu verschiedenen Zeiten vorgenommenen Eichungen ergaben

$$1\ \text{Skt.} = 7{,}90;\quad 8{,}18;\quad 7{,}98;\quad 7{,}99\ \mathrm{m}\mu \pm 0{,}02\ \mathrm{m}\mu.$$

Obwohl jede Versuchsreihe nur einen mittleren Fehler von $\pm$ 0,02 m$\mu$ aufwies, wichen sie doch untereinander stärker ab. Der Grund dafür liegt wahrscheinlich darin, daß die Achse der Stelze in der Anfangslage gegen die des Meßbolzens mehr oder minder geneigt war. Erst als die Stelze durch das vorher erwähnte gelochte Blech geführt war, wurden die Verhältnisse besser, wie die beiden letzten Werte beweisen. Einen gewissen Einfluß hat ferner die jeweilige Fokussierung des Fernrohrs.

Im Mittel ergibt sich

$$1 \text{ Skt.} = 8{,}01 \pm 0{,}06 \text{ m}\mu .$$

Dieser Wert wurde, da den beiden letzten Beobachtungen doch ein größeres Gewicht zukommt, auf

$$1 \text{ Skt.} = 8{,}00 \pm 0{,}08 \text{ m}\mu$$

abgerundet, so daß der Übersetzungsfaktor eine Genauigkeit von etwa 1% hat. Die Länge $s$ des Hebels berechnet sich daraus zu 1,42 mm.

Bei der Eichung mußte, der Spiegelkrümmung wegen, der Fernrohrauszug um 0,83 $\pm$ 0,02 mm gegenüber der Einstellung auf Unendlich verlängert werden, bei den eigentlichen Messungen dagegen um 0,42 $\pm$ 0,02 mm, um gleichzeitig die von dem Hebel- und dem Rahmenspiegel reflektierten Bilder beobachten zu können. Der davon herrührende Unterschied wurde bei der Berechnung berücksichtigt.

Wenn auch der zur Bestimmung der Einschnürung $\varepsilon''$ benutzte Versuchsapparat nicht ganz den Wünschen entsprach, so sollen trotzdem die damit erhaltenen Ergebnisse mitgeteilt werden, da er bei den Versuchen doch recht befriedigend arbeitete. Sie mußten zur Zeit aus äußeren Gründen abgebrochen werden, sollen indessen später mit anderen Hilfsmitteln wieder aufgenommen werden.

### e) Die Genauigkeit $\delta\varepsilon''$ und $\delta m$ der Einschnürung und der Poissonschen Zahl.

Die Einschnürung $\varepsilon''$ ergibt sich aus

$$\varepsilon'' = \frac{\lambda''}{d} \tag{38}$$

und ihr Fehler $\delta\varepsilon''$ aus

$$\delta\varepsilon'' = \pm\, \varepsilon'' \cdot \sqrt{\left(\frac{\delta\lambda''}{\lambda''}\right)^2 + \left(\frac{\delta d}{d}\right)^2}$$

oder, da $\lambda'' = n \cdot U$ ($n$ die abgelesenen Trommelteile, $U$ der Übersetzungsfaktor) zu

$$\delta\varepsilon'' = \pm\, \varepsilon'' \cdot \sqrt{\left(\frac{\delta n}{n}\right)^2 + \left(\frac{\delta U}{U}\right)^2 + \left(\frac{\delta d}{d}\right)^2}.$$

Bei den Versuchen war:

$$\begin{aligned} &\varepsilon'' = 80 \cdot 10^{-6}, \\ &n = 200 \text{ Skt.}, &\qquad \delta n &= \pm 4 \text{ Skt.}, \\ &U = 8, & \delta U &= \pm 0{,}08, \\ &d = 20 \text{ mm}, & \delta d &= \pm 2\mu, \end{aligned}$$

da für die Berechnung von $\varepsilon''$ nur der an der Meßstelle in der früher beschriebenen Weise ermittelte Durchmesser $d$ genommen wurde, wodurch sich der mögliche Fehler $\delta d$ auf den angegebenen Betrag vermindert. Damit wird

$$\delta\varepsilon'' = \pm\, 80 \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{\left(\frac{4}{200}\right)^2 + \left(\frac{0{,}08}{8}\right)^2 + \left(\frac{0{,}002}{20}\right)^2}$$

$$= \pm\, \frac{80 \cdot 10^{-6}}{200} \cdot \sqrt{16 + 4 + 4 \cdot 10^{-4}} = \pm\, 1{,}8 \cdot 10^{-6} \sim 2^1/_4\,\%.$$

Die Genauigkeit von $m = \varepsilon''/\varepsilon'$ folgt aus

$$\delta m = \pm m \cdot \sqrt{\left(\frac{\delta\varepsilon''}{\varepsilon''}\right)^2 + \left(\frac{\delta\varepsilon'}{\varepsilon'}\right)^2} = \pm 0{,}25 \cdot \sqrt{\left(\frac{1{,}8}{80}\right)^2 + \left(\frac{0{,}84}{300}\right)^2}$$

$$= \pm \frac{0{,}25}{300} \cdot \sqrt{45{,}5 + 0{,}70} = \pm 0{,}006 \sim 2\tfrac{1}{2}\,\%.$$

Für den früher erwähnten Stab von 5 mm Durchmesser wird, da bei ihm $\delta n = \pm 1$ Skt. war,

$$\delta\varepsilon'' = \pm 1{,}6 \cdot 10^{-6} \sim 2\tfrac{1}{2}\,\%$$
$$\delta m = \pm 0{,}007 \quad \sim 3\%.$$

Die berechneten Fehler werden etwas, wenn auch nur unwesentlich, erhöht werden müssen, da die Beobachtungen von $\varepsilon'$ und $\varepsilon''$ nicht gleichzeitig, sondern nur zeitlich nacheinander ausgeführt werden konnten. Die etwaigen kleinen Unterschiede in der Einstellung der Belastung werden aber durch die Mittelwertbildung praktisch genügend ausgeglichen.

## H. Messungen.

### a) Untersuchte Stähle.

Beabsichtigt war, außer der in der Einleitung erwähnten Bestimmung von $E$ und $m$ für den Kugellagerstahl, die elastischen Konstanten einer Reihe verschiedener Stähle und den Einfluß der Wärmebehandlung darauf zu ermitteln. Dazu stellte die Friedrich Krupp A.-G., Essen, je zwei Stäbe *a* und *b* der nachstehend aufgeführten Zusammensetzung zur Verfügung, wofür ihr auch an dieser Stelle verbindlichst gedankt sei. Die sämtlichen Stähle waren gehärtet. Sie sollten dann auf eine Reihe steigender Temperaturen angelassen und jedesmal $E$ und $m$ bestimmt werden. Aus den vorher angegebenen Gründen sind die Beobachtungen bisher nur im gehärteten Zustande ausgeführt worden und sollen erst nach Verbesserung des Einschnürungsmessers wiederholt und dann fortgesetzt werden. Das gilt auch für den Stahl unbekannter Zusammensetzung, der zur Herstellung von Drähten für die Gewindemessung dient, und der von der Firma Carl Zeiss, Jena zur Verfügung gestellt war, wofür ihr gleichfalls verbindlicher Dank ausgedrückt sei.

Zusammensetzung der Stähle.

| Nr. | C | Si | Mn | Ni | Cr | W | Härtung | Brinellhärte[1] a | Brinellhärte[1] b |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,56 | 0,35 | 0,55 | | | | 830° Öl | 290 | 310 |
| 2 | 0,78 | 0,16 | 0,26 | | | | 810° Öl | 320 | 330 |
| 3 | 0,93 | 0,01 | 0,36 | | | | 800° Öl | 355 | 360 |
| 4 | 0,24 | 0,23 | 0,50 | 4,86 | | | 800° Öl | 380 | 380 |
| 5 | 0,45 | 0,33 | 0,44 | 3,24 | 1,48 | | 850° Öl | 465 | 470 |
| 6 | 0,36 | 0,20 | 0,31 | 3,93 | 1,38 | 1,02 | 850° Öl | 450 | 460 |
| 7a | 0,17 | 0,68 | 0,39 | 8,5 | 18,1 | | 1170° Was. | 180 | |
| 7b | 0,17 | 0,68 | 0,39 | 8,5 | 18,1 | | 950° Was. | | 160 |
| Z | unbekannt | | | | | | | | |

### b) Messungen.

Die Messungen wurden in der Weise ausgeführt, daß die Stähle 1 bis 7 (Z) mit 1000 kg (100 kg) vor- und dann in Stufen von 2000 kg (100 kg) bis 7000 kg (500 kg) belastet wurden. Bei Nr. 7 betrugen die Stufen nur 1000 kg, die Werte sind aber, des leichteren Vergleichs halber, auf 2000 kg umgerechnet.

[1] An den Köpfen bestimmt.

Die Beobachtungen der Längsdehnung $\varepsilon'$ bieten nichts besonderes. Sie wurden mit dem Skalenfernrohr durchgeführt, da nicht genügend AKF zur Verfügung standen und die mit jenem erreichte Genauigkeit (im Vergleich zur Einschnürung) völlig

Beobachtungen von $\lambda''$.

| Stab-Nr. | Versuchs-Nr. | Einzelwerte | | | | Mittel | Gesamtmittel |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 a | 1 | 207,5 | 204,3 | 201,5 | | 203,4 | |
| | 2 | 203,0 | 201,0 | 198,0 | | 200,0 | 201,7 |
| 1 b | 1 | 203,3 | 204,2 | 200,1 | | 202,0 | |
| | 2 | 205,9 | 205,6 | 205,4 | | 204,9 | 203,5 |
| 2 a | 1 | 190,7 | 185,4 | 181,6 | | 184,4 | |
| | 2 | 189,5 | 187,3 | 187,5 | | 187,9 | |
| | 3 | 194,0 | 191,0 | 193,3 | | 192,7 | 188,3 |
| 2 b | 1 | 200,8 | 202,9 | 202,6 | | 202,4 | |
| | 2 | 199,5 | 202,8 | 198,8 | | 200,3 | |
| | 3 | 205,5 | 202,3 | 199,1 | | 201,4 | 201,4 |
| 3 a | 1 | 205,8 | 202,4 | 205,9 | | 204,7 | |
| | 2 | 201,8 | 199,9 | 202,9 | | 201,7 | |
| | 3 | 193,0 | 209,5 | 198,5 | | 201,3 | 202,6 |
| 3 b | 1 | 212,0 | 207,5 | 206,0 | | 207,5 | |
| | 2 | 210,5 | 212,3 | 205,5 | | 208,6 | |
| | 3 | 197,0 | 202,5 | 195,3 | | 198,0 | |
| | 4 | 198,0 | 202,5 | | | 200,3 | 203,6 |
| 4 a | 1 | 205,0 | 203,0 | | | 203,7 | |
| | 2 | 210,7 | 207,8 | 207,2 | | 208,1 | |
| | 3 | 214,0 | 210,5 | 207,7 | | 209,7 | 207,2 |
| 4 b | 1 | 217,0 | 219,5 | 215,3 | | 217,0 | |
| | 2 | 211,0 | 216,0 | 218,7 | | 216,5 | |
| | 3 | 227,0 | 225,5 | 222,5 | | 224,2 | 219,2 |
| 5 a | 1 | 204,0 | 205,5 | 206,0 | | 205,5 | |
| | 2 | 201,5 | 201,8 | 199,8 | | 200,8 | |
| | 3 | 203,0 | 206,5 | 206,0 | | 205,7 | 204,0 |
| 5 b | 1 | 207,5 | 201,3 | 197,5 | | 200,4 | |
| | 2 | 206,8 | 208,4 | 207,3 | | 207,5 | |
| | 3 | 206,7 | 199,9 | | | 202,1 | 203,3 |
| 6 a | 1 | 219,5 | 219,3 | 215,5 | | 217,4 | |
| | 2 | 218,2 | 218,1 | 217,4 | | 217,8 | |
| | 3 | 214,5 | 217,3 | 219,8 | | 218,1 | 217,8 |
| 6 b | 1 | 208,2 | 209,6 | 212,1 | | 210,6 | |
| | 2 | 208,0 | 210,5 | 211,0 | | 210,3 | |
| | 3 | 218,3 | 206,7 | | | 210,5 | |
| | 4 | 213,0 | 207,3 | | | 209,6 | 210,3 |
| 7 a | 1 | 206,0 | 210,0 | 216,0 | 223,6 | 217,2 | |
| | 2 | 212,4 | 224,2 | 221,4 | 222,6 | 221,6 | |
| | 3 | 204,0 | 215,0 | | | 211,4 | 217,0 |
| 7 b | 1 | 213,2 | 215,6 | 210,4 | 218,4 | 216,8 | |
| | 2 | 210,0 | 213,0 | 214,6 | 211,0 | 212,4 | 214,6 |
| Z | 1 | 36,0 | 37,5 | 34,9 | | 36,1 | |
| | 2 | 36,5 | 36,0 | | | 36,3 | |
| | 3 | 35,0 | 38,0 | | | 36,5 | |
| | 4 | 36,4 | 36,2 | | | 36,3 | |
| | 5 | 35,7 | 35,9 | 35,6 | | 35,7 | 36,2 |

ausreicht. Dagegen wird es von Interesse sein, die für die jeweiligen Laststufen erhaltenen Werte von $\lambda''$ (in Skt. des SchM des AKF) mitzuteilen, um so einen Überblick über die erreichte Genauigkeit und die praktische Brauchbarkeit des Einschnürungsmessers zu geben. Durch Störungen verursachte auffällige Ausreißer sind dabei fortgelassen. Die Mittelwertbildung ist durch entsprechende Verteilung der Gewichte auf die einzelnen Belastungen erfolgt.

Wie aus vorstehender Aufstellung ersichtlich, betragen bei

| Nr. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Z | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| die max. Diff. d. Einzelwerte | ± 3 | 4 | 8 | 4 | 5 | 6 | 8 | 1,5 | Skt. |
| die max. Diff. d. Mittelwerte | ± 2 | 4 | 5 | 4 | 4 | 0,5 | 5 | 1 | Skt., |

wobei 1 Skt = 8 m$\mu$. Die maximalen Differenzen sind also mit ± 64 bzw. ± 40 m$\mu$ etwas größer als die bei den früher erwähnten Messungen von Sieglerschmidt erhaltenen (± 37 m$\mu$), so daß sein Apparat doch vorzuziehen sein dürfte, namentlich wenn die Messung durch Verwendung eines AKF verbessert wird. Immerhin wird aber der aus dem Minimeter entstandene Versuchsapparat auch brauchbar sein, wodurch u. U. eine Neubeschaffung erspart werden kann.

c) Ergebnisse.

Nachstehend sind die erhaltenen Werte der Längsdehnung $\varepsilon'$, der Einschnürung $\varepsilon'$, des Elastizitätsmoduls $E$ und der Poissonschen Zahl $m$ sowie auch die Brinellhärten $H$ angegeben. Die Werte für $\varepsilon'$ und $\varepsilon''$ der je zwei gleichartigen Stäbe können, der etwas verschiedenen Durchmesser wegen, nicht unmittelbar miteinander verglichen werden.

| Nr. | $\varepsilon' \cdot 10^6$ | $\varepsilon'' \cdot 10^6$ | $E \cdot 10^{-6}$ | Mit. | $m$ | Mit. | $H$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 a | 306,00 | 80,57 | 2,075 | | 0,263 | | 290 |
| 1 b | 307,67 | 81,56 | 2,080 | 2,08 | 0,265 | 0,26 | 310 |
| 2 a | 306,87 | 75,97 | 2,110 | | 0,248 | | 320 |
| 2 b | 300,33 | 80,63 | 2,123 | 2,12 | 0,268 | 0,26 | 330 |
| 3 a | 288,20 | 80,82 | 2,198 | | 0,280 | | 355 |
| 3 b | 291,00 | 81,06 | 2,165 | 2,18 | 0,279 | 0,28 | 360 |
| 4 a | 321,53 | 82,71 | 1,972 | | 0,257 | | 380 |
| 4 b | 324,33 | 88,15 | 1,971 | 1,97 | 0,272 | 0,26 | 380 |
| 5 a | 314,00 | 81,52 | 2,025 | | 0,260 | | 465 |
| 5 b | 313,00 | 81,13 | 2,025 | $2{,}02_5$ | 0,259 | 0,26 | 470 |
| 6 a | 320,86 | 86,04 | 1,935 | | 0,268 | | 450 |
| 6 b | 318,00 | 84,05 | 2,000 | 1,97 | 0,264 | 0,27 | 460 |
| 7 a | 312,26 | 86,70 | 2,035 | | 0,278 | | 180 |
| 7 b | 313,60 | 85,80 | 2,030 | 2,03 | 0,274 | 0,28 | 160 |
| Z | 250,3 | 57,92 | 2,035 | 2,04 | 0,231 | 0,23 | |

Im allgemeinen stimmen die Elastizitätsmoduln der je zwei gleichartigen Stäbe auf ± 0,6 %, also innerhalb der früher berechneten Fehlergrenze überein; eine Ausnahme machen nur die Stäbe Nr. 6, wo der Unterschied ± 1½ % beträgt. Deshalb ist es wohl berechtigt, den Schluß zu ziehen, daß bei den reinen Kohlenstoffstählen Nr. 1 bis 3 der Elastizitätsmodul mit dem von 0,56 bis 0,93 % steigenden Kohlenstoffgehalt schwach (um etwa 5 %) anwächst (während die Härte um 20 % gestiegen ist), wenn auch die Unterschiede im Silizium- und Mangangehalt eine gewisse Einschränkung bedingen.

Die legierten Stähle Nr. 4 bis 6 weisen dagegen kleinere und fast gleiche Elastizitätsmoduln auf (Unterschiede knapp 3 %). Das gilt auch für den nichtrostenden

Stahl Nr. 7, wobei die verschiedene Härtung ohne Einfluß geblieben ist, sowie für den Stahl Z.

Ebenso stimmen auch die Poissonschen Zahlen für die je zwei gleichartigen Stähle gut überein, da die größten Abweichungen nur ± 1½ % ausmachen, also sogar innerhalb der Fehlergrenze von ± 2½ % bleiben. Ausnahmen bilden die Stäbe Nr. 4 und 2 mit ± 6 % bzw. ± 8 %, deren Elastizitätsmoduln gut übereinstimmen. Umgekehrt zeigen die Stäbe Nr. 6, bei denen diese den größten Unterschied voneinander aufweisen, praktisch übereinstimmende Werte von *m*.

Wodurch die Unterschiede von *E* und *m* bei den Stäben Nr. 6 bzw. Nr. 4 und 2 zu erklären sind, ist schwer zu sagen. Auf Beobachtungsfehler dürften sie kaum zurückzuführen sein, da sie bei allen Meßreihen wiederkehren. Am wahrscheinlichsten wird man sie wohl auf innere Spannungen (der gehärteten Stäbe) zurückführen dürfen.

Während die Elastizitätsmoduln in die üblichen Grenzen von 2,0 bis $2{,}2 \cdot 10^6$ kg/cm² fallen, liegen die Poissonschen Zahlen durchweg unter dem sonst allgemein angenommenen Wert 0,3, bei dem *Z*-Stahl sogar unter dem theoretischen Wert 0,25. Dabei streuten gerade bei diesem Stab die Beobachtungen am wenigsten. Trotzdem sollen die *m*-Werte noch nicht als endgültig angesehen, sondern, wie schon erwähnt, mit einem anderen Apparat neu bestimmt werden. Als Mittel kann man für die Stähle Nr. 1 bis 7 $m = 0{,}27$ nehmen, ein Wert, der (ebenso wie der des *Z*-Stahls mit $m = 0{,}23$) durchaus innerhalb der in der Literatur angegebenen Grenzen bleibt (nach Landolt-Börnstein, Physikalisch-Chemische Tabellen, 5. Auflage: 0,247 bis 0,287). Einige andere Werte seien nachstehend angegeben:

Poissonsche Zahl *m*.

| Beobachter | *m* |
|---|---|
| Wagner (5) | 0,231 bis 0,281 |
| Grüneisen (6) | 0,287 |
| Carrington (7) | 0,236 bis 0,255 |
| Baker (8) | 0,260 bis 0,315 |
| Sieglerschmidt (4) | 0,289 bis 0,292 |
| Verf. | 0,231 bis 0,280 |

Setzt man die für den Stahl *Z* gefundenen Werte von *E* und *m* in die Formel für die Hertzsche Abplattung ein, so folgt, daß der experimentell von Bochmann (1) ermittelte Zahlenfaktor nicht um 9,5 %, sondern um 10,5 % kleiner ist als der aus der Theorie folgende. Trotz der vorher geäußerten Bedenken wird man also doch zu dem Schluß berechtigt sein, daß eine zahlenmäßige Abweichung von 10 % zwischen Theorie und Beobachtung besteht.

## Schriftenverzeichnis.

1. H. Bochmann, Dissertation, Technische Hochschule Dresden, 1927; G. Berndt, *diese Zeitschr.* ***48.*** *S. 422. 1928.*
2. *National Physical Laboratory. Report for the year 1923.*
3. G. Berndt, Grundlagen und Geräte technischer Längenmessungen, 2. Aufl. 1929. S. 151.
4. H. Sieglerschmidt, *Meßtechnik.* ***5.*** *S. 8. 1929.*
5. O. Wagner, Dissertation Jena, 1903.
6. E. Grüneisen, *diese Zeitschrift* ***28.*** *S. 89. 1908.*
7. Carrington, *Phil. Mag. (6)* ***41.*** *S. 206. 1921.*
8. Baker, *Phil. Mag. (6)* ***48.*** *S. 1080. 1924.*

# Eine Wald-(Berg-)Bussole mit Doppelbild-Entfernungsmesser.

Von

**Karl Lüdemann** in Freiberg (Sa.)

(Mitteilung aus den Werkstätten für wissenschaftliche Präzisionsinstrumente der Max Hildebrand G. m. b. H. in Freiberg.)

Im deutschen übertägigen Vermessungswesen werden Instrumente, bei denen eine Bussole einen wesentlichen Hauptteil bildet, heute vorzugsweise in der Forstvermessung und bei der tachymetrischen Aufnahme von bewachsenem Gelände verwendet. Eine um so größere Verbreitung haben derartige Instrumente in Ländern mit weniger entwickeltem Kartenwesen und bei kolonialen Aufnahmen gefunden[1]). Eines der am weitesten verbreiteten Instrumente dieser Art ist die Wald- oder Berg-Bussole, ein Instrument, das für die Bestimmung des Lagewinkels nur eine zentrisch angeordnete Bussole besitzt. Die hochkantstehende Lamellennadel hat eine Länge von 110 mm. Die Einheit der versilberten Bussolenteilung beträgt $1^0$ (linear 1 mm) oder $^1/_2{}^0$ (linear 0,5 mm). Die Höhen- und Tiefenwinkel werden auf einem Höhenkreis mit dem Teilungsdurchmesser 14,5 cm und der Teilungseinheit $^1/_2{}^0$ an einem Doppelnonius auf 1′ abgelesen. Die Horizontierung geschieht mit einer auf der Bussolenplatte angeordneten Röhrenlibelle.

Das Fernrohr des Instrumentes, dessen Abmessungen aus der Tafel 1 unter „alt“

Tafel 1.

| | | Fernrohr | |
|---|---|---|---|
| | alt | neu | mit Doppelbild-Entfernungsmesser |
| Objektivöffnung . . . . . . . . . mm | 25 | 30 | 36 |
| Objektivsystem Brennweite . . . mm | 250 | 261 | 240 |
| Fernrohrlänge . . . . . . . . . cm | 26,5 | 22,5 | 24 |
| Okular Brennweite . . . . . . . mm | 11 | 10 | 9 |
| Fernrohrvergrößerung . . . . . . | 22,7 | 26,1 | 26,7 |
| Austrittspupille . . . . . . . . . mm | 1,1 | 1,15 | 1,35 |
| Relat. Helligkeit . . . . . . . . | 1,2 | 1,3 | 1,8 |
| Wahres Gesichtsfeld { Orthoskop-Okular | 1°, 85 | 1°, 61 | 1°, 57 |
| Wahres Gesichtsfeld { Ramsden-Okular | 1°, 54 | 1°, 34 | 1°, 31 |

hervorgehen, ist mit Entfernungsmeßfäden für die Multiplikationskonstante 100 versehen. Es ist bei Instrumenten dieser Art, die nach Holländisch-Indien geliefert werden, so eingerichtet, daß durch den Beobachter die Multiplikationskonstante genau zu 100,00 gemacht werden kann. Diese Vorrichtung wird sonst im geodätischen Instrumentenwesen heute meist als unnötig, überholt und auch als gefährlich betrachtet.

An Stelle des Fernrohres mit Okularauszug wird die Wald- oder Berg-Bussole neuerdings mit einem Fernrohr mit Schaltlinse ausgestattet, dessen optische Abmessungen in der Tafel 1 unter „neu“ angegeben sind.

Eine ganz besondere Bedeutung hat die Bergbussole (*Boussole Tranchmontagne*) in Niederländisch-Indien gewonnen. Über die Ergebnisse, die hier unter Leitung und Überwachung durch fachmännisch ausgebildete Offiziere und Unteroffiziere des Topo-

---

[1]) Den Beweis hierfür bietet z. B. die gleichzeitige Lieferung von über 200 Bergbussolen auf eine Bestellung an die gleiche ausländische Vermessungsbehörde durch die Hildebrand-Werkstätten in Freiberg vor wenigen Jahren.

graphischen Dienstes bei der Aufnahme der ausgezeichneten Karte 1:25000 von Java und der Grundsteuerkatasterkarte 1:5000 von Java, Sumatra und Celebes durch fast ausschließlich eingeborene, meist javanische Aufnehmer erzielt worden sind, hat R. Montigel [1, 2, 3] mehrfach in wertvollen Arbeiten berichtet.

Die Berg- und Waldbussole hat im In- und Ausland ihre Pflicht erfüllt. Daß sie trotzdem durch Hinzufügung eines Glaskeiles nach Aregger zum Doppelbild-Entfernungsmesser ausgestaltet wurde, geschah aus der Notwendigkeit, bei gewissen Arbeiten die Genauigkeit der Streckenmessung zu steigern.

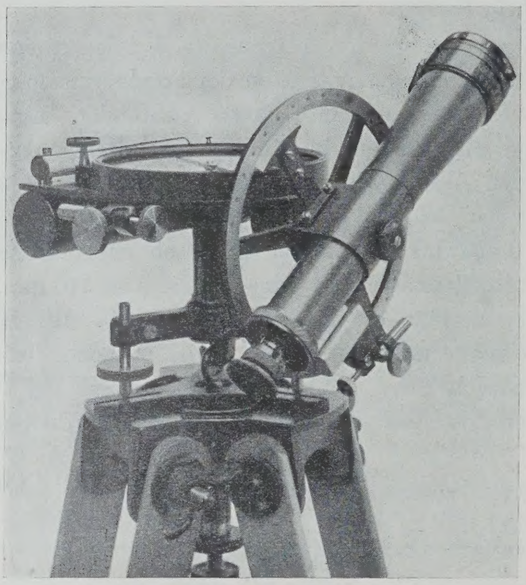


Abb. 1.

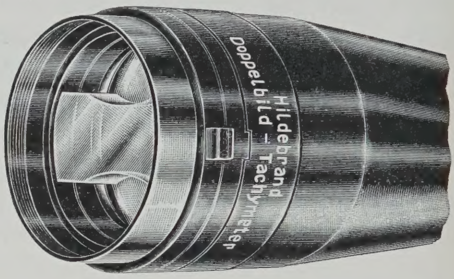



Abb. 2.

Das neue Instrument ist in Abb. 1 dargestellt. Das Fernrohr ist, wie die Tafel 1 zeigt, in seinen optischen Abmessungen erneut verstärkt worden. Es trägt vor dem Objektiv einen symmetrisch zu einem Durchmesser angeordneten ablenkenden Glaskeil nach Aregger in bekannter Konstruktion [z. B. 4 und 5]. Dieser Prismenkopf des Fernrohres ist in Abb. 2 geschlossen, in Abb. 3 aufgeklappt besonders veranschaulicht. Die Meßlatten sind ebenfalls in der bereits bekannten Ausführung gehalten.

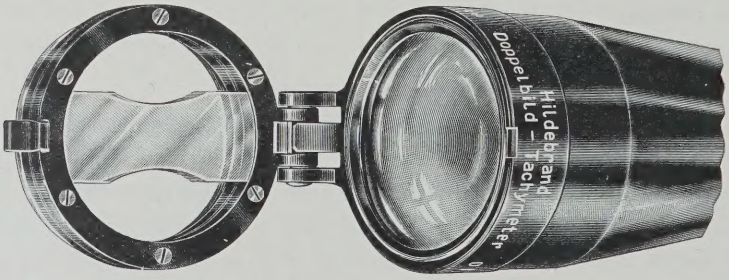



Abb. 3

Das so ergänzte Instrument gestattet, da das Fadenkreuz — wie bisher — mit allerdings festen Entfernungsmeßfäden versehen ist, die mittelbare Streckenmessung mit diesen oder mit sehr großer Genauigkeit [6] mit dem Doppelbild-Entfernungsmesser auszuführen.

Neben der Waldbussole wird im Forstvermessungswesen vornehmlich noch die Theodolitbussole verwendet, die mit einem Grundkreis (Teilungsdurchmesser 16 cm, Teilungseinheit $^1/_2{}^0$, Nonienangabe 60″), einer darauf angebrachten Bussole (Nadel-

länge 8,5 cm, Teilungseinheit $1^0$ oder $^1/_2{}^0$), einem Höhenkreis (Teilungsdurchmesser 11 cm, Teilungseinheit $^1/_2{}^0$, Nonienangabe 60″) und einem zentrisch angeordneten Fernrohr von in der Regel 23facher Vergrößerung versehen ist. Wird diese Theodolitbussole mit einem Doppelbild-Entfernungsmesser ausgerüstet, so können mit ihr Polygon- und Bussolenzüge, beide mit mittelbarer Seitenmessung entsprechender Genauigkeit, gemessen und Aufnahmen nach der Polarkoordinatenmethode mit verschiedener Genauigkeit ausgeführt werden. Der Gebrauchsumfang des Instrumentes wird also ganz erheblich erweitert, was sich z. B. auch bei der Beschaffung von Grundlagen zur genauen Auswertung aerophotogrammetrischer Aufnahmen und bei vielen anderen Arbeiten als sehr vorteilhaft und wirtschaftlich erweisen wird.

### Angezogene Schriften.


1. R. Montigel, Die Genauigkeit der Tachymetrie. *Zeitschr. f. Vermw.* ***56.*** *S. 97—100. 1927.*
2. R. Montigel, De nauwkeurigheid van de bij den Topografischen dienst gebruikelijke wijze van optische afstandsmeting met de bergboussole. *Mededeelingen van de Vereeniging van Officieren van den Topografischen Dienst. 1928. S. 1—5, 47—56, 113—136, 187—206.*
3. R. Montigel, De nauwkeurigheid van de bij den Topografischen dienst gebruikelijke wijze van azimutmeting met de bergboussole. *Mededeelingen van de Vereeniging van Officieren van den Topografischen Dienst in Nederlandsch Indie. 1929. S. 1—13, 59—66, 101—104.*
4. K. Lüdemann, Die Katastermessung nach der Polarkoordinatenmethode und das neue Doppelbildtachymeter. *Allg. Verm.-Nachr.* ***40.*** *S. 169—176, 185—192. 1928.*
5. J. H. G. Schepers, Nauwkeurige optische afstandsmeting. *Mededeelingen van Officieren van den Topografischen Dienst. S. 315—337. 1928.*
6. K. Lüdemann, Genauigkeitsuntersuchungen an einem geodätischen Doppelbild-Entfernungsmesser. *Diese Zeitschr.* ***48.*** *S. 109—113. 1928.*


---

# Über den Bau gutisolierender radioaktiver Kollektoren für luftelektrische Messungen.


Von

Dr. **Walter Grundmann**, Meteorologisches Observatorium Breslau-Krietern.

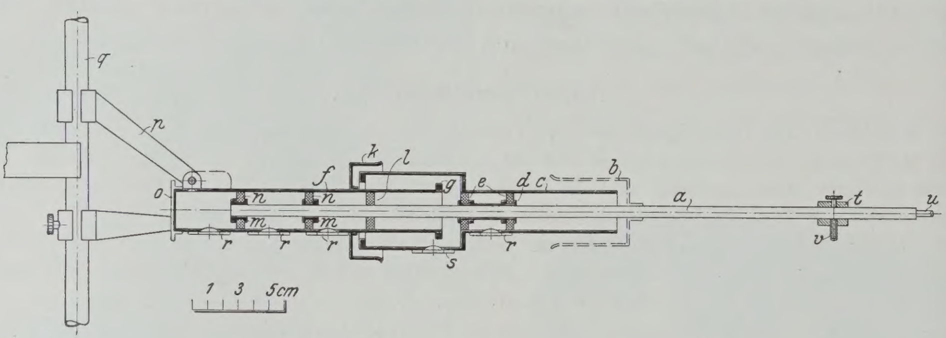

Die zur Messung des Potentialgefälles der Atmosphäre benutzten Kollektoren sind bekanntlich, wenn man möglichst unverfälschte Werte erzielen, d. h. im ungestörten elektrischen Felde messen will, unter Ausschaltung des Einflusses von Bäumen, Gebäuden usf. voll den Witterungseinflüssen auszusetzen. Damit entstehen aber sofort die Schwierigkeiten einer guten Isolation der radioaktiven Sonde gegen das Haltesystem bzw. die Erde. Eine bei jeder Witterung gute Isolation ist aber eine wichtige Vorbedingung für die Durchführung einwandfreier Messungen.

Die Isolation kann gestört werden durch Luftfeuchtigkeit, Regen, Staubanflug, Schneeansatz, Vereisungen, organische Absonderungen von Kleintieren u. a. m. Bei der Konstruktion von Kollektoren für Dauermessungen ist auf diese schädigenden Faktoren unbedingt zu achten.

In der Abbildung ist ein Kollektor dargestellt, wie er nach meinen Angaben gebaut, seit geraumer Zeit im Meteorologischen Observatorium Krietern den Witterungseinflüssen ausgesetzt ist.

An dem Haltesystem $p$, das an den Führungsstangen $q$ verschiebbar ist, ist das Messingrohr $f$ befestigt. Das abschraubbare Verschlußstück $o$ schließt dieses Rohr nach der einen Seite ab. In dem Rohr $f$ sitzt, von diesem durch Bernsteinstücke $n$ und $l$ elektrisch isoliert, das die radioaktive Sonde $v$ tragende durchgehende Messingrohr $a$. Ein aufschraubbarer Ring $g$ dient zum erhöhten Schutz gegen etwa bis dahin

gelangende Wassertröpfchen. Über die offene Seite des Rohres *f* ist ein Messingschutzmantel *c* geschoben, der durch die Bernsteinstücke *e* vom kollektortragenden Rohr *a* isoliert und mittels des Schlittens *d* auf diesem Rohre beliebig verschiebbar ist. Die feste Kappe *k* dient dem besseren Schutze gegen Schneeverwehungen und Regen und ist besonders bei Verwendung des Kollektors in vertikaler Lage unentbehrlich. Die Schutzkappe *b*, die ebenfalls verschiebbar ist, soll gegen den Wasserzutritt zu den Bernsteinisolatoren *e* abschirmen. In ihrem nach unten liegenden, d. h. in horizontaler Lage dem Erdboden zugekehrten Seite ist diese Schutzkappe mehrmals durchlöchert,




um dem etwa eingedrungenen Wasser den Abfluß zu erleichtern, denn es ist zu beachten, daß der Kollektor in horizontaler Lage um wenige Grade mit der Sonde nach unten, gegen die Horizontale geneigt ist. Bei vertikaler Lage des Kollektors muß diese Kappe natürlich abgenommen werden. *r* sind die Anschraubstellen für die Trockengefäße. Das in *s* vorgesehene Ansatzgefäß kann nötigenfalls mit Karbol oder Ameisensäure gefüllt werden. Durch diese Maßnahme wird etwaigen Kleintieren der Eintritt in den offenen Teil des Tubus *f* verwehrt oder zumindest erschwert. Die Bernsteinstücke *n*, *e* und *l* sind mittels Natronsilikat möglichst luftdicht verkittet. Die Sonde *v*, die durch den Schlitten *t* ebenfalls beliebig verschiebbar ist und für den Fall, daß der Kollektor in vertikaler Lage benutzt werden soll, an dem Ansatz *u* befestigt werden kann, besitzt noch einen unten offenen Schutzzylinder (in der Skizze nicht mit angegeben).

Sämtliche Metallteile des Kollektors — bis auf den Kupferstift, der das radioaktive Präparat (Ionium, Polonium oder Radiothor) trägt — sind aus Messing, das zum besseren Schutz gegen die Witterungseinflüsse nach außen hin vernickelt ist.

Die Isolationsmessungen zeigten, daß durch diesen Kollektor, selbst während Dauerregenperioden von mehreren Tagen die radioaktive Sonde oder das Rohr *a* gegen die Erde gut isoliert war. Die in den Ansatzgefäßen *r* untergebrachte Trockensubstanz wurde während dieses Regens nur unwesentlich verbraucht. Aus diesem Grunde konnte auch das anfänglich benutzte Phosphorpentoxyd durch das hygroskopisch weniger aktive Chlorcalcium ersetzt werden.

Der hier beschriebene Kollektor hat weiterhin den Vorteil, leicht auseinandernehmbar zu sein, so daß man also ohne große Mühe an die gefährdeteren Stellen, wie etwa die Isolationsstücke *l* und *e*, zwecks Reinigung gelangen kann.

Die noch möglichen Fehler bei der Messung des Potentialgefälles der Luft, die durch die radioaktive Sonde hervorgerufen werden können, z. B. durch Beziehen mit einer Wasserhaut usw., sollen hier nicht erörtert werden.

# Berichte.

## Über die Theorie der indizierenden Apparate.

*(Sur la théorie des appareils indicateurs.)*

*Von* N. Kryloff und N. Bogoliuboff. *Journ. de Physique* ***VII/I.*** *S. 77—92. 1930.*

Unter „indizierende Apparate“ *(appareils indicateurs)* verstehen die Verfasser Schwingungen registrierende Apparate allgemeinster Art (Dampfmaschinen-Indikatoren, Oszillographen, Seismographen, Vibrographen usw.) und stellen sich zur Aufgabe, die Bedingungen und Methoden für getreue Aufzeichnung mathematisch zu erfassen. Ihre Darlegungen sind in Kürze folgende:

§ 1. Der zu registrierende, periodische Vorgang $f(t)$ mit Periode $T$ sei dargestellt durch eine Fourier-Reihe:

$$f(t) = \sum_{n=0}^{n=\infty} (a_n \cos n\,\omega\, t + b_n \sin n\,\omega\, t); \qquad \omega = \frac{2\pi}{T}; \qquad a_n = \frac{2}{T}\int_0^T f(t)\cdot \cos n\,\omega\, t\cdot dt;$$

$n =$ Ordnungszahl der Harmonischen

$$b_n = \frac{2}{T}\int_0^T f(t)\cdot \sin n\,\omega\, t\cdot dt$$

oder in imaginär-exponentieller Form, kürzer

$$f(t) = \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} A_n\, e^{+i n \omega t}; \qquad A_n = \frac{1}{T}\int_0^T f(t)\, e^{-i n\omega t}\, dt \qquad 1)$$

für alle $n$ ganz, paarweise positiv und negativ, also Summation von $-\infty$ bis $+\infty$.

Die Gleichung der Bewegung $y$ des Indikators lautet:

$$m\frac{d^2 y}{d t^2} + \lambda \frac{d y}{d t} + c\, y = f(t) = \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} A_n\, e^{+i n\omega t} \qquad 2)$$

$m, \lambda, c =$ Masse, Dämpfung, Richtkraft.

Die vollständige Lösung von 2), Summe des allgemeinen Integrals des homogenen Teiles der Gl. 2) und eines partikulären Integrals der kompletten, nichthomogenen Gl. 2) mit Störungsfunktion, ist:

$$\left.\begin{aligned} y &= y_{allg} + y_{part} \\ y_{allg} &= A\, e^{\left(-\frac{\alpha}{2} + \sqrt{\frac{\alpha^2}{4} - 1}\right)\sqrt{\frac{c}{m}}\, t} + B\, e^{\left(-\frac{\alpha}{2} - \sqrt{\frac{\alpha^2}{4} - 1}\right)\sqrt{\frac{c}{m}}\, t}; \\ y_{part} &= \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} \frac{A_n}{m(i\,n\,\omega)^2 + \lambda(i\,n\,\omega) + c}\, e^{+i n \omega t} \end{aligned}\right\} \qquad 3)$$

mit $A, B =$ Integrationskonstanten.

$$\alpha = \frac{\lambda}{\sqrt{c\,m}}; \qquad \frac{\mathfrak{z}}{n} = \sqrt{\frac{m}{c}}\,\omega = \frac{\Theta}{T} = \frac{\text{Eigenperiode des Indikators}}{\text{aufgedrückte Periode}} \qquad 4)$$

$y_{allg}$ stellt den Anteil der rasch abklingenden Eigenschwingung dar, bringt also das „Ansprechen“ des Instrumentes zum Ausdruck; $y_{part}$ ist der nach Verstummen der Anlaufschwingung verbleibende, allein wertvolle Anteil der Aufzeichnung.

Die Bedingung für möglichst getreue Registrierung kann von zwei Gesichtspunkten aus beurteilt werden:

a) „teilweise Synchronisation“ im Sinne Cornus[1]). Diese verlangt möglichst sofortiges Ansprechen des Apparates, d. h. möglichst rasches Abklingen der Eigenschwingung $y_{allg}$.

[1]) Cornu (Paris), zeitgenössischer französischer Wissenschaftler. Leider fehlt in der Arbeit Kryloffs die Quellenangabe für die zitierte Abhandlung Cornus.

b) „vollkommene Synchronisation" im Sinne Blondels[1]). Blondel betont möglichst geringe Abweichung zwischen der verbleibenden stabilen Aufzeichnung $y_{part}$ $\left(\text{im Maßstab } \frac{1}{c}\right)$ und dem zu registrierenden Vorgang $f(t)$, also möglichst kleine Differenz $c\,y_{part} - f(t)$.

Die Synchronisation nach Cornu fordert gemäß Gl. 3) u. 4)

$$\left.\begin{array}{l} \text{für } \alpha > 2,\ \text{Anlaufschwingung aperiodisch: } \alpha \text{ möglichst klein, d. h. } \alpha = 2 \\ \text{für } \alpha < 2,\ \text{Anlaufschwingung periodisch: } \alpha \text{ möglichst groß, d. h. } \alpha = 2 \end{array}\right\} \qquad 5)$$

übereinstimmend.

Die Synchronisation nach Blondel führt mit Gl. 3) u. 1) zu:

$$c\,y_{part} - f(t) = -\sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} A_n \frac{m(i\,n\,\omega)^2 + \lambda(i\,n\,\omega)}{m(i\,n\,\omega)^2 + \lambda(i\,n\,\omega) + c}\, e^{+i\,n\,\omega\,t} = \text{Minimum}.$$

Die einzelnen $A_n$ hängen von Fall zu Fall von den zu registrierenden, verschiedenartigsten Vorgängen ab, sind also dem Indikator fremd. Es kann daher nur verfügt werden, daß der $A_n$ nicht enthaltende Teil der einzelnen Harmonischen der Differenzschwingung $c\,y_{part} - f(t)$ möglichst klein sei, d. h. nach den Regeln der komplexen Rechnung:

$$\left.\begin{array}{ll} \text{Amplitude von } \dfrac{m(i\,n\,\omega)^2 + \lambda(i\,n\,\omega)}{m(i\,n\,\omega)^2 + \lambda(i\,n\,\omega) + c}\, e^{+i\,n\,\omega\,t} & = \sqrt{\dfrac{m^2 n^4 \omega^4 + \lambda^2 n^2 \omega^2}{(-m\,n^2\omega^2 + c)^2 + \lambda^2 n^2 \omega^2}} \\ \text{oder mit 4)} & = \sqrt{\dfrac{\mathfrak{z}^4 + \alpha^2 \mathfrak{z}^2}{(\mathfrak{z}^2 - 1)^2 + \alpha^2 \mathfrak{z}^2}} = \text{Minimum}. \end{array}\right\} \qquad 6)$$

Die Verfasser weisen nach, daß für das durchaus normale Verhältnis $\frac{\Theta}{T} = \frac{1}{100} = \frac{\mathfrak{z}}{n}$ und eine Anzahl Harmonische $n < 70$ die Amplitude stets mit $\alpha$ zunimmt. Die Blondelsche Bedingung verlangt somit im besten Falle $\alpha = 0$.

Das Cornusche und Blondelsche Kriterium $\alpha = 2$ bzw. $\alpha = 0$ sind also widersprechend, und es muß das eine zuungunsten des andern bevorzugt werden.

Die Praxis wählt nun, auf Grund bewährter Erfahrung, nach Cornu $\alpha = 2$ oder $\alpha =$ etwas kleiner als 2 (gerade aperiodische oder leicht unteraperiodische Dämpfung), und es ist zu untersuchen, welchen Fehler die notgezwungene Nichtbeachtung der Blondelschen Bedingung in der Aufzeichnung verursacht.

Die Verfasser berechnen dazu (da die Funktionen zwischen + und — oscillierend) den „mittleren quadratischen Fehler"[2]):

$$R = \sqrt{\frac{\frac{1}{T}\int_0^T [c\,y_{part} - f(t)]^2\,dt}{\frac{1}{T}\int_0^T [f(t)]^2\,dt}} = \text{umgeformt nach 2):}$$

$$\sqrt{\frac{\int_0^T \left[m\frac{d^2y}{dt^2} + \lambda\frac{dy}{dt}\right]^2 dt}{\int_0^T [f(t)]^2\,dt}} \leqq \alpha\sqrt{\frac{m}{c}}\sqrt{\frac{\int_0^T [f'(t)]^2\,dt}{\int_0^T [f(t)]^2\,dt}}$$

und mit 1) für $f(t)$, mit $\sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} |\text{Modul } A_n|^2 = \sum_{n=0}^{n=\infty} (a_n^2 + b_n^2)$, und nach Regeln der komplexen

---

[1]) Blondel, A., *Conditions générales que doivent remplir les instruments enregistreurs ou indicateurs; problème de la synchronisation intégrale. Compt. Rend.* ***116.*** *S. 748. 1893.*

[2]) Ähnlich wie bei den Wechselstromgrößen, Spannung und Stromstärke.

Rechnung:

$$R \leqq \alpha \sqrt{\frac{m}{c}} \sqrt{\frac{\omega^2 \sum\limits_{n=0}^{n=\infty} n^2 (a_n^2 + b_n^2)}{\sum\limits_{n=0}^{n=\infty} (a_a^2 + b_n^2)}} = \alpha \sqrt{\frac{m}{c}}\, \omega \sqrt{\text{Mittelwert von } n^2} < \alpha \frac{\Theta}{T} n_{\max} \qquad 7)$$

beim Abbrechen der Fourier-Reihe, d. h. wiederum für

$$\alpha = 2, \quad \sqrt{\frac{m}{c}}\,\omega = \frac{\Theta}{T} = \frac{1}{100} \text{ und } n_{\max} = \text{nur 5 Harmonische,}$$

schon $R \leqq 10\,\%$.

Die Ausschließung der Blondelschen Bedingung bedingt also in der Aufzeichnung mittlere quadratische Fehler bis zu $10\,\%$ schon bei der geringen Anzahl von 5 Harmonischen.

§ 2. Da die unmögliche Erfüllung des Kriteriums von Blondel einen so großen Fehler verursachen kann, soll untersucht werden, ob, unter weitgehendstem Festhalten an Cornus $\alpha \simeq 2$, aus dem vorliegendem, unbefriedigendem Diagramm durch Anwendung geeigneter Auswertungsverfahren ein genauerer Wert der gesuchten Größe $f(t)$ zu ermitteln sei.

Dazu greifen die Verfasser zurück zu der von H. Busch[1]) erstmals begründeten Methode der Auswertung durch „Diagrammverschiebung".

Statt der fehlerhaften Diagrammordinate $y$ zur Zeit $t$ greife man ab die Ordinate $y$ zu dem etwas zeitlich verschobenen Augenblick $t + \tau$ und berichtige sie mit einem passenden Korrektionsfaktor $K$. Man erhält somit einen genaueren Wert aus der Rektifikationsformel

$$\eta_1 = K y (t + \tau) . \qquad 8)$$

Die Verfasser leiten nun die zwei freibleibenden Werte $\tau$ und $K$ folgerichtig wieder aus der Bedingung des Minimums des mittleren quadratischen Fehlers ab:

$$R = \sqrt{\frac{\frac{1}{T}\int\limits_0^T [c\,K\,y_{part}(t+\tau) - f(t)]^2\,dt}{\frac{1}{T}\int\limits_0^T [f(t)]^2\,dt}} = \text{Minimum.}$$

Einsatz von $y_{part}(t + \tau)$ und $f(t)$ aus den expliziten Ausdrücken 3), 1) und Umformung nach Regeln der komplexen Rechnung führen mit 4) zu:

$$R^2 = \frac{\sum\limits_{n=0}^{n=\infty} (a_n^2 + b_n^2) \frac{(1 - \mathfrak{z}^2 - K\cos\varphi\,\mathfrak{z})^2 + (\alpha\,\mathfrak{z} - K\sin\varphi\,\mathfrak{z})^2}{(1-\mathfrak{z}^2)^2 + \alpha^2\mathfrak{z}^2}}{\sum\limits_{n=0}^{n=\infty} (a_n^2 + b_n^2)} = \text{Minimum,} \qquad 9)$$

wobei

$$\left\{ \begin{array}{ll} \tau = \sqrt{\frac{m}{c}}\,\varphi\,; & \varphi = \text{reine Zahl} \\ \mathfrak{z} \text{ und } \varphi\,\mathfrak{z} = \text{kleine Dezimalbrüche} & \end{array} \right.$$

Die Minimumbedingung von Gl. 9) verlangt das Nullsetzen der Glieder niederer Ordnung in der Mac-Laurinschen Entwicklung von 9), da 9) unendlich klein höherer Ordnung in $\mathfrak{z}$ ist. Es ergeben sich daraus die Bestimmungsgleichungen:

$$1 - K = 0\,; \quad \alpha - K\varphi = 0\,; \quad 1 - \frac{K\varphi^2}{2} = 0\,; \quad \text{mithin } K = 1\,; \quad \varphi = \sqrt{2}\,; \quad \alpha = \sqrt{2}\,. \qquad 10)$$

Man erhält hiernach die eingliedrige Rektifikationsformel

$$\eta_1 = y\left(t + \sqrt{2}\sqrt{\frac{m}{c}}\right) \qquad 11)$$

mit einer oberen Fehlergrenze

$$R \leqq \sqrt{\frac{2}{9}\mathfrak{z}^6 \frac{1 + \frac{1}{8}\mathfrak{z}^2}{1 + \mathfrak{z}^4}} \qquad \mathfrak{z} = \frac{\Theta}{T} n\,,$$

[1]) H. Busch. *Physikal. Zeitschr.* ***13.*** *S. 615. 1912.*

d. h. für $\frac{\Theta}{T} = \frac{1}{100}$ und für $n = 70$ Harmonische: Fehlergrenze $R \leqq 15\,\%$

„ „ „ = „ „ „ $n = 35$ „ „ $R \leqq 2\,\%$

„ „ „ = „ „ „ $n = 15$ „ „ $R \leqq 0{,}14\,\%$

aber mit dem hinsichtlich des Cornuschen Postulates keineswegs günstigsten Wert $\alpha = \sqrt{2}$.

§ 3. Da die Rektifikationsformel 11) leider den nach Cornu nicht ganz befriedigenden Wert $\alpha = \sqrt{2} = 1{,}41$ (statt 2) befürwortet, wird untersucht, ob durch Anwendung einer mehrgliedrigen Rektifikationsformel bei unbedingter Einhaltung des besten $\alpha$-Wertes $= 2$ von Cornu ein möglichst kleiner quadratischer Fehler $R$ zu erzielen sei. Die Verf. schlagen vor, mit 5 Freiwerten, die dreigliedrige Rektifikationsformel

$$\eta_3 = K_1\, y\,(t + \tau_1) + K_2\, y\,(t + \tau_2) + K_3\, y\,(t)\,. \tag{12}$$

Zur Bestimmung des Minimums des quadratischen Fehlers

$$R = \sqrt{\frac{\frac{1}{T}\int\limits_0^T [\varDelta(t)]^2\, dt}{\frac{1}{T}\int\limits_0^T [f(t)]^2\, dt}}\,,$$

wo

$$\varDelta(t) = \text{Differenz}\ c\,[K_1\, y_{part}\,(t + \tau_1) + K_2\, y_{part}\,(t + \tau_2) + K_3\, y_{part}\,(t)] - f(t)$$

mit

$$\tau_1 = \sqrt{\frac{m}{c}}\,\varphi_1\,; \qquad \tau_2 = \sqrt{\frac{m}{c}}\,\varphi_2\,; \qquad \varphi_1,\ \varphi_2 = \text{reine Zahlen}$$

führt eine genau ähnliche Rechnung wie 9) zu den Bestimmungsgleichungen:

$$K_1 + K_2 + K_3 = 1\,; \qquad K_1\,\varphi_1 + K_2\,\varphi_2 = \alpha\,; \qquad K_1\,\varphi_1^2 + K_2\,\varphi_2^2 = 2\,; \qquad K_1\,\varphi_1^3 + K_2\,\varphi_2^3 = 0\,,$$

also 4 Gleichungen mit 5 Unbekannten, d. h. Unbestimmtheit. Es werden daher 4 Unbekannte vermittelst der 5ten, am besten $\varphi_2$, ausgedrückt, und durch stufenweises Rechnen (in Tabellenform veröffentlicht) der Zahlenwert von $\varphi_2$ ausprobiert, der zum numerischen Minimum von $R$ führt.

Man findet so, daß es 2 optimale Werte gibt, $\varphi_2 = -0{,}5$ und $-2$, aus denen sich die 2 günstigsten Rektifikationsformeln ergeben:

$$\eta_3 = 10{,}8\, y\left(t + \frac{1}{3}\sqrt{\frac{m}{c}}\right) + 3{,}2\, y\left(t - \frac{1}{2}\sqrt{\frac{m}{c}}\right) - 13{,}0\, y\,(t) \tag{13a}$$

$$\eta_3 = \frac{27}{8}\, y\left(t + \frac{2}{3}\sqrt{\frac{m}{c}}\right) + \frac{1}{8}\, y\left(t - 2\sqrt{\frac{m}{c}}\right) - \frac{5}{2}\, y\,(t) \tag{13b}$$

mit $\alpha = 2$ und einer Fehlergrenze:

$$R \leqq \sqrt{\frac{\left(\frac{|K_1\,\varphi_1^4|\,\mathfrak{z}^4 + |K_2\,\varphi_2^4|\,\mathfrak{z}^4}{4!}\right)^2 + \left(\frac{|K_1\,\varphi_1^5|\,\mathfrak{z}^5 + |K_2\,\varphi_2^5|\,\mathfrak{z}^5}{5!}\right)^2}{(1 - \mathfrak{z}^2)^2 + \alpha^2\,\mathfrak{z}^2}}\,.$$

Für $\frac{\Theta}{T} = \frac{1}{100}$ wird nachstehende Tabelle der quadratischen Fehler beider Formeln mitgeteilt.

| Anzahl Harmonische $n$ | Formel (13a) für $\varphi_2 = -0{,}5$ $R \leqq$ | Formel (13b) für $\varphi_2 = -2$ $R \leqq$ |
|---|---|---|
| 100 | 14 % | 11 % |
| 80 | 0,57 % | 4,6 % |
| 60 | 0,18 % | 1,4 % |
| 40 | 0,04 % | 0,3 % |
| 20 | 0,002 % | 0,02 % |

§ 4. Schließlich berechnen die Verfasser in Ergänzung des unter § 1, 2 und 3 bestimmten mittleren quadratischen Fehlers den sog. punktuellen Fehler unter gleichen Bedingungen, d. h. das

Verhältnis der maximalen lokalen Abweichung des Diagramms $c\,y$ (oder der Rektifikationsformel $c\,\eta$) von dem Sollwert $f(t)$ zum quadratischen Mittelwert von $f(t)$, m. a. W. den Quotienten

$$R_p = \frac{\text{Maximum}\,|\Delta(t)|}{\sqrt{\frac{1}{T}\int\limits_0^T [f(t)]^2\,dt}} \tag{14}$$

unter $\Delta(t)$ die Differenzen verstanden:

$$\Delta(t) = c\,y_{part}(t) - f(t),$$

für das Diagramm selbst,

$$\Delta(t) = c\,\eta_1(t) - f(t) = c\,K\,y_{part}(t+\tau) - f(t),$$

für die eingliedrige Rektifikationsformel, und

$$\Delta(t) = c\,\eta_3(t) - f(t) = c\,[K_1\,y_{part}(t+\tau_1) + K_2\,y_{part}(t+\tau_2) + K_3\,y_{part}(t)] - f(t)$$

für die dreigliedrige Rektifikationsformel.

Es werden dafür längere Berechnungen angestellt, die zum Teil den Entwicklungen der § 1 2 und 3 weitgehend ähneln.

Ohne viel Mathematik kann aber, wie die Verfasser auch kurz am Ende ihres Aufsatzes mitteilen, der punktuelle Fehler $R_p$ unmittelbar aus dem vorher ermittelten mittleren quadratischen Fehler abgeleitet werden, wie folgende einfache, mehr anschauliche, als strenge Betrachtung zeigt.

In Gl. 14) sind die Funktionen im Nenner und Zähler trigonometrische Reihen

$$f(t) = \sum_{n=0}^{n=\infty} (a_n \cos n\,\omega\,t + b_n \sin n\,\omega\,t) \quad \text{(s. § 1);}$$

$$\Delta(t) = \sum_{n=0}^{n=\infty} (c_n \cos n\,\omega\,t + d_n \sin n\,\omega\,t)\,; \qquad \omega = \frac{2\,\pi}{T}.$$

Der quadratische Mittelwert im Nenner ist (ähnlich wie bei Wechselstromgrößen) infolge der quadratischen Integration und die Reihe bei der Harmonischen $n = n_{\max}$ abgebrochen:

$$\sqrt{\frac{1}{T}\int\limits_0^T [f(t)]^2\,dt} = \sqrt{\sum_{n=0}^{n=n_{\max}} (a_n^2 + b_n^2)\,\frac{1}{2}} = \sqrt{n_{\max}\,(a_n^2+b_n^2)_{\text{Mittel}}\cdot\frac{1}{2}}\,.$$

Das Maximum des Zählers ist nach dem Cauchyschen Satze über den Wert einer komplexen Funktion in Nähe eines Punktes

$$\text{Maximum}\,|\Delta(t)| < \sum_{n=0}^{n=n_{\max}} \sqrt{c_n^2+d_n^2} = n_{\max}\,(\sqrt{c_n^2+d_n^2})_{\text{Mittel}}\,.$$

Somit

$$\left.\begin{aligned} R_p \leqq \frac{n_{\max}\,(\sqrt{c_n^2+d_n^2})_{\text{Mittel}}}{\sqrt{n_{\max}\,(a_n^2+b_n^2)_{\text{Mittel}}\cdot\frac{1}{2}}} &= \sqrt{2\,n_{\max}}\left(\frac{\sqrt{c_n^2+d_n^2}}{\sqrt{a_n^2+b_n^2}}\right)_{\text{Mittel}} = \sqrt{2\,n_{\max}}\,|R| \text{ für } n_{\text{Mittel}} \\ &< \sqrt{2\,n_{\max}} \times \text{mittleren quadratischen Fehler,} \end{aligned}\right\} \tag{15}$$

d. h. in Worten: der punktuelle Fehler ist gleich dem mittleren quadratischen Fehler, multipliziert mit der Quadratwurzel aus dem Produkt $2 \times$ Anzahl der Harmonischen der Fourier-Reihe.

Daraus errechnen sich unter Benutzung der Fehlerwerte auf S. 698 u. 700 folgende obere Grenzen des punktuellen Fehlers:

Eingliedrige Rektifikationsformel $\eta_1$ Gl. 11) mit $\alpha = \sqrt{2}$:

| | | |
|---|---|---|
| $n = 15$ | Harmonische | $R_p \leqq 0{,}8\,\%$ |
| $n = 12$ | „ | $R_p \leqq 0{,}4\,\%$ |
| $n = 8$ | „ | $R_p \leqq 0{,}08\,\%$ |

Dreigliedrige Rektifikationsformel Gl. 13a) für $\varphi = -0{,}5$ mit $\alpha = 2$:

| | | |
|---|---|---|
| $n = 80$ | Harmonische | $R_p \leqq 6{,}5\,\%$ |
| $n = 60$ | „ | $R_p \leqq 2\,\%$ |
| $n = 40$ | „ | $R_p \leqq 0{,}3\,\%$ |
| $n = 20$ | „ | $R_p \leqq 0{,}01\,\%$ |

§ 5. Zur Kritik sei folgendes bemerkt:

Die stark mathematische, von der exponentiell-komplexen Rechnung an Stelle der trigonometrischen ausgiebigen Gebrauch machende Arbeit, bringt als praktischen Gewinn eine scharfe Trennung der systematischen Fehler der Indikatordiagramme und deren Herabsetzung durch passende Apparatkonstanten bzw. Auswertungsmethoden. Vermißt wird in der Arbeit — falls nicht an anderer Stelle veröffentlicht — die Anwendung der vorgeschlagenen „Rektifikationsformeln" an wirklich aufgenommenen Diagrammen, wodurch ihr Wert erhöht würde.

Das Lesen der Abhandlung wird durch eine Anzahl teilweise recht auffälliger Druck- oder Schreibfehler erschwert.

Auffällige Druckfehler sind enthalten in:

Gl. 2) auf Seite 78 (des Urtextes); diese sollte korrekt lauten

$$c\, y_{part} - f(t) = -\sum_{-\infty}^{+\infty} A_n\, e^{i\omega n t}\, \frac{m\,(i\,\omega\, n)^2 + \lambda\,(i\,\omega\, n)}{m\,(i\,\omega\, n)^2 + \lambda\,(i\,\omega\, n) + c};$$

Gl. 16) auf S. 85; diese sollte korrekt lauten

$$\varphi_1 = \frac{\pm(\alpha\,\varphi_2 - 4)\,\varphi_2 - \alpha\,\varphi_2^2}{2\,(2 - \alpha\,\varphi_2)}.$$

Als Schreibfehler ist hervorzuheben: die Gl. 18) auf Seite 86

$$R \leqq \sqrt{\frac{\left(\frac{|K_1\,\varphi_1^4|\,\mathfrak{z}^4 + |K_2\,\varphi_2^4|\,\mathfrak{z}^4}{4!}\right)^2 + \left(\frac{|K_1\,\varphi_1^6|\,\mathfrak{z}^6 + |K_2\,\varphi_2^6|\,\mathfrak{z}^6}{6!}\right)^2}{(1 - \mathfrak{z}^2)^2 + \alpha^2\,\mathfrak{z}^2}};$$

hier sollte u. E. an Stelle des Exponenten 6 und der Fakultät 6! in der zweiten Klammer entsprechend 5 und 5! stehen und die Gleichung richtig wie unter 13a) und 13b) dieses Berichtes geschrieben sein. Der Fehler beruht offenbar auf einem Schreibfehler in der Reihenentwicklung von $\sin \varphi\, \mathfrak{z}$. Die wiedergegebene Fehlertabelle der Formeln 13a) und 13b) auf S. 700 dürfte dadurch leicht verunziert sein.

*Fr. Dubois, Schaffhausen (Schweiz).*

## Komparator neuer Bauart.

*(A new Type of Comparator.)*

*Von* Heber D. Curtis. *Publications of the Allegheny Observatory of the University of Pittsburgh. 8. S. 15—17. 1930.*

Bei der gebräuchlichsten, von Pulfrich gegebenen Anordnung des Zeiss'schen Komparators, dessen beide Platten senkrecht mit leichter Schrägung nebeneinander stehen, bewegt sich das Auge des Beobachters infolge der Verschiebung des ganzen optischen Systems je nach dem einzustellenden Plattenstück in wechselnder Höhe. Dies kann, auch bei Verstellbarkeit des Beobachtungsstuhls, gewisse Unbequemlichkeiten bieten; ferner beansprucht die Nebeneinander-Lagerung der Platten eine große Basislänge (bis zu 1 m) für den Haltearm der Plattenträger, wodurch merkliche Temperatur- oder Neigungsfehler entstehen können.

Zwecks Platzersparnis und dadurch bedingter Erzielung größerer Festigkeit ordnet der Verfasser in seiner neuen Konstruktion die beiden Platten nicht nebeneinander, sondern wagerecht übereinander an. Derselbe Gedanke ist zwar in ähnlicher Form schon früher aufgetreten, so z. B. bei dem Schlesingerschen Komparator, wo ein besonders gestaltetes Sammelprisma in einem zwischen den beiden übereinander liegenden Platten befindlichen Ablesefernrohr angebracht ist: hierbei wendet aber die eine Platte ihre Schichtseite, die andere ihre Glasseite diesem Sammelprisma zu, woraus gewisse Nachteile für die Messung entstehen können.

Unabhängig von diesem Entwurf hatte der Verfasser schon im Jahre 1925 die Pläne für seinen neuen Komparator ausgearbeitet, der jetzt fertig gebaut ist und dessen Einzelteile im wesentlichen folgendermaßen angeordnet sind: Das von zwei, in gemeinsamem Gehäuse senkrecht übereinander angebrachten, Lampen wagerecht ausgesandte Licht wird von zwei 45°-Spiegeln senkrecht aufwärts durch je eine der in 23 cm Abstand parallel übereinander liegenden Platten hindurch (beide je nach Wunsch mit Schicht oben oder beide mit Schicht unten) auf zwei rechtwinklige

Prismen geworfen und durchläuft die in Messingrohren von 5 mm Wandstärke eingebauten Kollimator-Objektive von 4 cm Öffnung; sodann wird es von einem gegenständigen Prismenpaar in einem dazwischen liegenden, aus vier rechtwinkligen Einzelprismen bestehenden Sammelprisma vereinigt und zum horizontal gerichteten Okular geleitet. Eine Blinkvorrichtung mit Motorantrieb läßt die beiden Lampen in wählbarem Rhythmus von 0,25 s bis 2,00 s abwechselnd aufleuchten; eine Schaltung gestattet die Platten entweder einzeln oder beide zugleich oder mit Blinkung abwechselnd zu betrachten. Durch zwei Kurbelgriffe lassen sich beide Plattenträger zugleich schnell in Rektaszension oder Deklination bewegen; eine Schraube bewegt das ganze optische System, eine andere nur Okularende und Sammelprisma in festen Führungsbahnen auf- und abwärts.

Durch diese Anordnung der Platten übereinander wird eine größere Stabilität des Ganzen gesichert. Der Plattenträger hat eine Grundfläche von $51 \times 60$ cm und gestattet die Einlegung von Platten von $20 \times 25$ cm. Um den Apparat verschiedenen Messungszwecken dienstbar zu machen, ist jeder Plattenträger sowohl für rechtwinklige Verschiebung als auch für Drehung um 360° eingerichtet.

Die optischen Teile entstammen den Feckerschen Werkstätten und wurden durch eine Schenkung der „*American Association for the Advancement of Science*“ erworben.

*B. Messow* †.

## Apparat Idrac zur Aufzeichnung der Geschwindigkeit und Richtung von Meeresströmungen.

(*Appareil Idrac pour l'enregistrement de la vitesse et de la direction des courants sous-marins.*)

Nach einer Schrift der *Société anonyme des anciens établissements Barbier, Bénard & Turenne* in Paris.

Obgleich dieser französische Strömungsmesser „Idrac“ in seinem Bau zu grundsätzlichen Bedenken Veranlassung gibt, sind doch die Einzelheiten seiner Konstruktion zur Bestimmung von Stromgeschwindigkeit und Richtung interessant genug, um eine eingehendere Beschreibung des Apparats zu rechtfertigen.

Der für Tiefen bis zu 100 m bestimmte Strömungsmesser (Abb. 1) besteht im wesentlichen aus einem metallenen Schutzrahmen, in welchem das Flügelrad *A* gelagert ist und dessen Decke *T* zwei äußere starkwandige Kupferzylinder *B* und einen mittleren Zylinder *C* trägt. Diese drei Zylinder umschließen die ganze, zum Arbeiten notwendige Apparatur. Die äußeren Zylinder können oben durch einen Deckel *H* mit Schrauben und Dichtungsring geschlossen werden; hier ist auch der Aufhängebügel *G* befestigt. Der linke Zylinder enthält neben einer Akkumulatorenbatterie *J*, die den Strom für die Registrierlampen liefert, noch einen Unterbrecher *K*, der kurz vor dem Aussetzen des Strömungsmessers geschlossen wird. Bei *E* befinden sich die gut abgedichteten Stellen der Kabeldurchführungen. Der mittlere Zylinder ist oben geschlossen, unten dagegen offen. Er umschließt ein engeres Rohr *P*, das zur Führung der in Kugellagern *R* laufenden Propellerachse dient und das oben zwei Kontaktvorrichtungen *Q* trägt. Die Drehung der Propellerachse wird hier durch Zahnräder auf zwei mit je einem Daumen versehene Achsen übertragen, deren Umlaufszeiten im Verhältnis 1 : 5 stehen. Durch Berührung dieser Daumen mit elastischen Federn wird der elektrische Strom auf kurze Zeit geschlossen und die zur Messung der Strömungsgeschwindigkeit dienenden Lampen $M_2$ bzw. $M_3$ im rechten Zylinder zum Aufleuchten gebracht. Im Inneren des mittleren Zylinders ist weiter ein ringförmiger Trog *S* angebracht, der vor jedem Versuch mit Öl gefüllt wird. Bei bestimmter Tiefe dringt das Wasser in den Trog ein und treibt das Öl in den oberen Teil des Gefäßes, um das Lager und die elektrischen Kontakte vor den störenden Einwirkungen des Seewassers zu schützen. Im rechten Zylinder ist bei *L* die mit

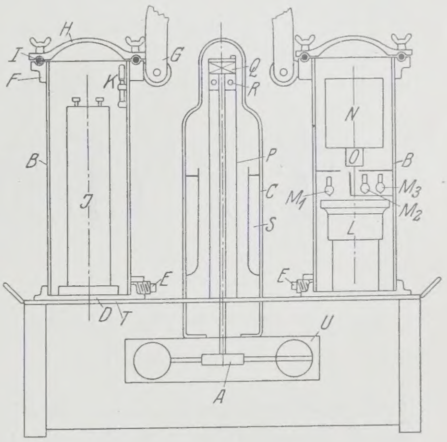


Abb. 1.

einem kreisförmigen Blatt versehene Magnetnadel gelagert und außer den bereits erwähnten beiden Lampen eine dritte Lampe $M_1$ aufgestellt, die von Versuchsbeginn an dauernd brennt und die Magnetscheibe von oben beleuchtet. $N$ stellt eine photographische Kammer dar, in welcher hinter einem Spezial-Objektiv $O$ ein photographischer Film durch ein Uhrwerk von 7tägigem Gang gleichmäßig bewegt wird, so daß gleichen Längen gleiche Zeitabschnitte entsprechen. Aus der Länge des abgerollten Films und der hierfür benötigten gemessenen Zeit wird die Filmlänge pro Minute bestimmt. Ein vor dem Objektiv aufgestellter und von den Lampen $M_2$ bzw. $M_3$ beleuchteter Spalt von 0,2 mm Breite wird auf dem oberen Teil des Filmbandes abgebildet. Es entsteht also bei jedem elektrischen Kontakt auf dem Film eine Strichmarke. Diese Striche sind um so schmäler und gedrängter, je größer die Stromgeschwindigkeit ist. Aus der Zahl der Striche in der Zeiteinheit läßt sich dann mit Hilfe der Eichkurve des Instruments ohne weiteres die Stromgeschwindigkeit ablesen. Zur Erlangung größerer Genauigkeit in der Ablesung werden durch die Betätigung der vorgesehenen beiden elektrischen Kontakte zwei Reihen derartiger Strichmarken erzeugt, indem die eine Lampe alle $n$, die andere alle $5\,n$ Umdrehungen aufzeichnet. Die Striche der ersten Reihe sind, wie Abb. 2 erkennen läßt, schmal und gedrängt, die der zweiten, entsprechend der langsameren Achsendrehung, breiter und entfernter, und zwar kommen auf einen Strich der unteren Reihe 5 Striche der oberen Reihe, so daß die aus der unteren Reihe abgeleiteten Werte für die Stromgeschwindigkeit mit 5 zu multiplizieren sind. Wenn die Stromgeschwindigkeit groß ist, wird es unmöglich, die Striche der oberen Reihe auszuzählen, und man ist auf die Ablesung der zweiten Reihe angewiesen. Durch die beschriebene Anordnung wird der Meßbereich des Apparates erweitert, und es können Geschwindigkeiten von etwa 10 cm bis 250 cm/sek gemessen werden.

Im unteren Teil des Filmbandes ist die Stromrichtung in Form einer Kurve registriert (Abb. 2), die folgendermaßen zustande kommt. Auf dem vom Magneten getragenen Blatt sind auf schwarzem Grund um den Drehpunkt zwei weiße konzentrische Kreise gezeichnet (Abb. 3). Eine dritte spiralförmige Linie geht von Norden aus, durchläuft alle vier Quadranten, um wieder bei Norden zu enden, wobei die Entfernungen von den konzentrischen Kreisen den Winkeln mit der Nordrichtung proportional sind. Der durch den schmalen Spalt $ff'$ ausgeblendete Teil der drei Kurven wird durch ein Objektiv auf den sich abrollenden Film projiziert,

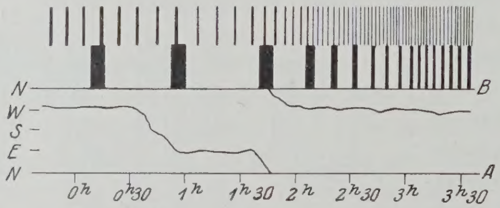



Abb. 2.

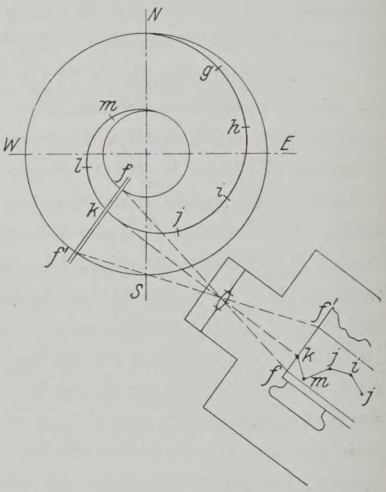



Abb. 3.

und es würden drei parallele gerade Linien entstehen, wenn die Richtung der Strömung unverändert bliebe. Dreht sich aber der Apparat, so werden auf dem Film, da der Magnet seine Nord-Süd-Richtung beibehält, drei Kurvenzüge entstehen. Die beiden äußeren, die von den konzentrischen Kreisen herrühren, sind parallel, die mittlere Kurve dagegen wird mehr oder weniger von den beiden Geraden entfernt sein, je nachdem, welche Teile der Spirale abgebildet werden. Im Fall der Abb. 3 entsteht demnach durch die Abbildung der Spiralpunkte $k$, $m$, $j$, $i$, $j$ die entsprechende Kurve $k\ m\ j\ i\ j$ auf dem Filmband. Die Kurven der Abb. 2 wären also folgendermaßen zu deuten: Die Strömung geht von $0^h$ bis $0^h\,30$ zunächst nach Westen, ändert zwischen $0^h\,30$ und $1^h$ ihre Richtung über Süden nach Osten, bleibt bis über $1^h\,30$ östlich gerichtet, um zwischen $1^h\,30$ und $2^h$ über die Nordrichtung in angenähert westlicher Richtung zu verharren. Ob diese, an sich elegante Methode, immer die erforderliche Genauigkeit gibt, bleibe dahingestellt. Zur

Einstellung des Apparates in die Stromrichtung dienen zwei hölzerne, in Abb. 1 nicht gezeichnete Stromfahnen, die mit den äußeren Zylindern des Strommessers in Verbindung gebracht sind. Sie tragen an ihren freien Enden zwei gegen die Horizontale leicht geneigte Flächen, um die senkrechte Stellung des Apparates im Strom zu sichern.

Dieses „Höhensteuer" stellt eine Nachbildung des von Merz in seinem Strömungsmesser angewendeten Prinzips dar. Der beschriebene Apparat läßt weiter in seinem Bau jede Angleichung an die Stromlinienform vermissen, und es steht zu befürchten, daß die Messungsergebnisse bei größeren Stromgeschwindigkeiten, infolge unzulässig starken Abtreibens, fehlerhaft sein werden. Bedenken begegnet auch die Anordnung der Kontaktvorrichtung, die, von feuchtem Öl bzw. mit Wasserdampf gesättigter Luft umgeben, kaum störungsfrei arbeiten wird. *Wr.*

## Optische Neuerungen auf der Achema.

(Ausstellung für chemisches Apparatewesen zur Hauptversammlung des Vereins deutscher Chemiker, Frankfurt a. M. 10.—22. Juni 1930.)

Bericht von Dr. F. Löwe.

Da die Aussteller optischer, mechanischer und elektrischer Instrumente sämtlich in einer und derselben Halle, der großen Festhalle, untergebracht waren, wurde dem Besucher der Überblick über die große Mannigfaltigkeit der ausgestellten Apparate und Laboratoriumseinrichtungen erleichtert. Während die Konstruktionsformen der optischen Instrumente im allgemeinen, d. h. wenigstens in Deutschland, von den Fesseln der alten Feinmechanik mit ihren scharfen Kanten und Ecken und der primitiven Art des Zusammenschraubens befreit worden sind, also ein durchaus modernes, durch die Mitwirkung des Ingenieurs bedingtes Gepräge angenommen haben, ist die Kunst des Ausstellens noch nicht allgemein auf dem neuen Standpunkte angelangt; man traf immer noch einzelne Stände, die ihre Fabrikate, wie in einem Museum, in Glasschränken ausstellten und die den fragenstellenden Besucher nur durch die Überreichung von Druckschriften aufklären wollten. Die Mehrzahl der optischen Firmen dagegen hatte ihre Stände mit Fachleuten ausgestattet, die imstande waren, die sorgfältig ausgewählten Typen der Apparate im Betriebe sachgemäß vorzuführen und hatten als Betrachtungsobjekte, etwa für die Mikroskope oder die Spektroskope, besonders lehrreiche, oder wenigstens den Beschauer fesselnde Präparate mitgebracht. So war der Rundgang für jeden, der sich dafür genügend Zeit nahm — und für diese war selbst im Hauptprogramme des Chemikertages gut gesorgt — so lehrreich wie bisher auf jeder Achema. Beginnen wir mit den in die chemischen Laboratorien endlich sich mehr und mehr einbürgernden Mikroskopen und den Apparaten für die Mikrophotographie, so sei zunächst an die hier vorherrschenden Metall-Mikroskope der folgenden Firmen erinnert: E. Leitz-Wetzlar (Binokulares Aufbereitungs-Mikroskop, Erhitzungs-Mikroskop nach Endell für Silicat- und Metall-Untersuchungen), C. Reichert-Wien (Mikrophotographie von Metallschliffen), W. und H. Seibert-Wetzlar (Metallmikroskope, biologische Mikroskope), sowie R. Winkel-Göttingen und Carl Zeiss-Jena (beide mit großen und kleinen Werkstoff-Mikroskopen sowie binokularen Stativen vertreten). Die Fortschritte im Bau der Metallmikroskope liegen z. T. in der allgemein erhöhten Stabilität, in der erschütterungsfreien Aufstellung, in der Vereinfachung der früher recht kunstvollen Handhabung, in der erfolgreichen Bekämpfung der Reflexe und schließlich in einer neuen Einrichtung für schwächere Vergrößerungen sowie der Möglichkeit, größere Objekte als Ganzes aufzunehmen.

Die Projektionsapparate dienten im chemischen Hochschulunterrichte bisher entweder dazu, Glasbilder oder — im auffallenden Lichte — Zeichnungen und bunte oder kristallisierte Präparate an der Wand zu zeigen; durch mehrjährige Arbeitsgemeinschaft der Herren Prof. Stock und Dr. Ramser-Karlsruhe mit der Firma Carl Zeiss ist neuerdings dem Epidiaskope ein erheblich weiterer Spielraum gegeben worden, es wurde umgeschaffen zur Projektion chemischer, biologischer und mineralogischer Objekte und Vorgänge[1], sowie von physikalischen Erscheinungen; jedem Teilnehmer an dem großen Stockschen Vortrage wird dieser ein persönliches Erlebnis gewesen sein.

Ein Mikropyrometer nach v. Wartenberg, das zur Ermittlung des Schmelzpunktes kleiner Präparate dient, zeigte die Firma Spindler & Hoyer-Göttingen. Von Kolorimetern seien die Mikro-

[1] Vgl. A. Stock und H. Ramser, *Zeitschr. f. angew. Chem.* **42.** *S. 1165. 1929.*

kolorimeter nach Kleinmann (Firma Schmidt & Haensch-Berlin), das Kompensations-Kolorimeter nach Bürker (Firma Leitz) sowie das Pulfrich-Photometer (Carl Zeiss) genannt, das in sechs verschiedenen Anwendungsweisen, zur Farbtonbestimmung, Weißgehalts-, Glanz-, Trübungsmessung, als Nephelometer und schließlich als eigentliches Kolorimeter vorgeführt wurde. Die Gruppe der Spektralphotometer wurde durch das König-Martenssche Modell (Firma Schmidt & Haensch) bestens vertreten. Von Monochromatoren zur Erzeugung einfarbigen Lichtes waren ein geradsichtiges Modell der Askaniawerke-Berlin-Steglitz, die Doppelmonochromatoren nach Pohl für sichtbares und ultraviolettes Licht (Spindler & Hoyer), die festarmigen lichtstarken Modelle mit 90° Ablenkung (Carl Zeiss), sowie das insbesondere in Verbindung mit Polarimetern sehr bequeme Modell der Firma R. Winkel-Göttingen aufgestellt.

Die erfreuliche Zunahme der Befreundung des Chemikers mit der Spektralanalyse gibt sich in einzelnen dafür besonders ausgebildeten Apparaturen zu erkennen, so in zwei Kleinspektrographen ($4^1/_2 \times 6$ und $6 \times 9$ cm) der Firmen R. Fueß-Berlin und Carl Zeiss, sowie den mit rotierendem Sektor und den Scheibeschen Küvetten ausgestatteten $9 \times 12$ cm-Modell (R. Fueß), $13 \times 18$ cm-Modell (Carl Zeiss), sowie größeren Modellen dieser beiden und anderer Firmen; auch die Verbindung eines Handspektroskops mit einer Kamera wurde mehrfach gezeigt.

Für die optische Betriebskontrolle sind ein Flüssigkeitsstand-Fernmesser (Askania-Werke), das Reichsbahnmodell des Pendel-Viscosimeters (Spindler & Hoyer) sowie das Betriebsrefraktometer für siedende oder strömende Lösungen (Carl Zeiss) bestimmt. Selbstverständlich fehlten auch die technischen Refraktometer und Interferometer nicht. —

So ist mit Genugtuung festzustellen, daß die optische Industrie sich mehr und mehr bemüht, die Bedürfnisse der chemischen Industrie und Forschung zu erkennen und zu befriedigen; und die Achema ist immer wieder der maßgebende Ort, an dem beiden Gruppen von Schaffenden Gelegenheit zur fruchtbringenden Verständigung gegeben wird.

## Die Registrierung von Pendelschwingungen mittels kapazitiver Kontakte.

*Von* H. Mahnkopf. *Zeitschr. f. Geophysik.* **5**. *S. 49—52. 1929.*

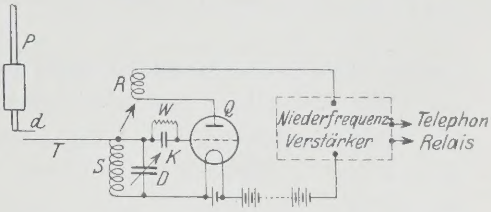
Die ungünstigen Erfahrungen, die mit mechanisch-elektrischen Kontakten an Pendeluhren allenthalben gemacht wurden, haben zu zahlreichen Versuchen veranlaßt, ohne mechanische Berührung stromführender Teile die Schwingungen zeitmessender Organe elektrisch zu registrieren. Bekannt sind die Arbeiten von Ferrié (Ref. in *dieser Zeitschr.* ***44***. *S. 41. 1928.*), der als Relais zwischen schwingendem Organ und Registriergerät die Photozelle benutzt, ein Verfahren, das mit dem bestem Erfolg an vielen Stellen angewendet wird.

Einen anderen Weg schlägt der Verf. ein, indem er die Bewegung des Pendels mit Hilfe hochfrequenter Schwingungen aufzeichnet. In ähnlicher Weise hat Lejay (Ref. in *dieser Zeitschr.* ***50***. *S. 167. 1930.*) das Problem bereits früher gelöst, mit dem Erfolg, daß Genauigkeiten bis zu 1/10000 s erreichbar werden. Wesentlich für die Lejaysche Einrichtung ist die sogenannte Kapazitive Brücke, die das Pendel mittels eines besonderen Organs zwischen einem als Antenne zu bezeichnenden Drahtstück eines Überlagerungskreises und einer unmittelbar mit dem Gitter der Audionröhre des Empfängers verbundenen Platte — Empfangsantenne — in geeigneter Phase seiner Schwingung hergestellt.

Der Verf. ändert das Lejaysche Gerät dadurch ab, daß er an Stelle des Senders einen gewöhnlichen rückgekoppelten Audionempfänger verwendet, der durch entsprechende Einstellung der Rückkoppelung zum Schwingen angeregt wird. Dadurch wurde eine stärkere Energieausbeute erreicht, als sie Lejay bei seiner Apparatur erzielte. Es zeigte sich, daß die durch die kapazitive Brücke, die das Pendel darstellt, auf den Empfangskreis übertragene Energie so groß war, daß ein Zweiröhren-Niederfrequenzverstärker hinter dem Audion genügte, das angeschaltete Registriergerät zu betätigen. Als Registrierrelais diente an Stelle des von Lejay benutzten Oszillographen ein sogenanntes Telephonrelais im Anodenkreis der letzten Verstärkerröhre, das aus einem Telephon von 4000 $\Omega$ Widerstand bestand, dessen Membran durch eine Blattfeder aus Stahl mit der Eigenfrequenz von 800 bis 1000 s ersetzt wurde. Die Tonhöhe dieses Relais läßt sich durch Veränderung der Rückkoppelung einstellen, wodurch das System die notwendige Abstimmung erfährt, deren die verwickeltere Anordnung von Lejay nicht bedarf.

Die Registrierung selbst kann dann optisch erfolgen, zu welchem Zwecke auf der Blattfeder des Telephonrelais ein kleiner Spiegel befestigt wird, dessen Schwingungen ein Lichtzeiger aufzeichnet.

Sein Gerät hat der Verf. noch ganz wesentlich vereinfacht, indem er den Empfänger gleichzeitig auch als Sender benutzt in einer Anordnung, die in der Abb. schematisch wiedergegeben ist. In der Abb. bedeuten $Q$ das Audion, $S$ die Gitterspule, $D$ der Abstimmungskondensator, $K$ der Gitterkondensator, der durch den hochohmigen Festwiderstand $W$ überbrückt wird, $R$ die Rückkoppelungsspule und $T$ die bei den Versuchen 1 m lange Antenne. $P$ stellt das Pendel dar mit dem Draht $d$, der beim Vorübergang an dem Antennendraht $T$ als Zusatzkapazität wirkend im Telephonrelais eine starke Verstimmung der ursprünglichen Abstimmung bewirkt. Der Kondensator $D$ wird so abgestimmt, daß der durch die Zusatzkapazität erzeugte Ton mit dem der Blattfeder in Resonanz kommt.




Die erlangten Registrierungen erwiesen sich als sehr genau, außerdem zeigte sich die Einstellung des Gerätes als sehr stabil. Das vom Verf. ausgebildete Verfahren benutzt Wellenlängen der Größenordnung von 500 m und hat damit Vorzüge vor dem von Lejay, das wesentlich kürzere Wellenlängen benutzt, mit denen zu arbeiten bekanntlich schwieriger ist. *W. Keil.*

## Die Registrierung von Pendelschwingungen ohne elektrische Kontakte.

*Von* H. Mahnkopf. *Sonderdruck aus d. D. Uhrmacherztg. 1929.*

Der vorliegende Aufsatz, ein Referat, das der Verf. auf einer Tagung der Gesellschaft für Zeitmeßkunde gehalten hat, behandelt zusammenfassend die Frage der Registrierung von Pendelschwingungen ohne Zuhilfenahme mechanisch-elektrischer Kontakte am Pendel selbst. Es werden die Schwierigkeiten, die durch Rad- oder Pendelkontakte bedingt werden, erörtert und die Gründe angeführt, die zu den Versuchen im Sinne des Themas veranlaßten. Verf. umreißt sodann die verschiedenen Lösungen, die das Problem bisher gefunden hat, wobei die Versuche und Messungen, die durch Arbeiten von Lejay angeregt wurden und am Preußischen Geodätischen Institut durchgeführt wurden, im Vordergrund stehen. Auf Einzelheiten kann hier verzichtet werden, da vorstehend bereits darüber berichtet wird. *W. Keil.*

## Die Registrierung der Schwingungen eines Schwerkraftpendels mittels hochfrequenter elektrischer Schwingungen und ihre Rückwirkung auf das Pendel.

*Von* H. Schmehl. *Zeitschr. f. Geophysik.* **5.** *S. 53—58. 1929.*

Verf. hat durch umfassende Beobachtungen an einem Schwerkraftpendel den Einfluß der Registrierung mittels kapazitiver Kontakte (Ref. in *dieser Zeitschr.* **50.** *S. 706. 1930*) auf die Schwingungszeit des Schwerkraftpendels untersucht. Um das Verfahren anwenden zu können, hinsichtlich dessen Einzelheiten auf die zitierten Referate verwiesen werden muß, waren einige besondere Einrichtungen an dem benutzten Pendelapparat anzubringen. Benutzt wurde das vergoldete Nickelstahl-Halbsekundenpendel $F_3$ des Preußischen Geodätischen Institutes, in dessen Räumen die Beobachtungsreihen durchgeführt wurden, in einem Dreipendel-Haubenapparat. Am äußeren Rande der horizontalen Pendellinse wurden aneinander gegenüberliegenden Punkten mittels Wachs kleine Messingwinkel befestigt, von denen der eine einen kurzen horizontal liegenden Messingstift, der andere ein horizontal liegendes Messingplättchen trug. Als Registriergerät fand das von Mahnkopf abgeänderte Lejaysche mit einem Telephonrelais als Registrierrelais Verwendung.

Die besonderen Einrichtungen bestanden außer den an der Pendellinse angebrachten Organen in einem zwischen dem Pendelstativ und der Haube angeordneten Holzring, der in Durchbohrungen die beiden Antennen des Registriergeräts, deren Lage zur Pendellinse justiert werden konnte, hielt. Als Beobachtungsuhr diente die Uhr Riefler Nr. 96.

Die mitgeteilten Beobachtungen, die, was die Registriereinrichtung betrifft, absichtlich nicht unter den günstigsten Bedingungen angestellt wurden, ergaben, daß das Koinzidenzintervall durch die Registrierung um einen Betrag vermindert wird, dem eine Änderung der Schwerebeschleunigung von $-0,3 \pm 0,2$ mgal (1 gal = 1000 mgal die Einheit der Schwerebeschleunigung) entspricht. Damit ist erwiesen, daß die gewählte Registrierungsart nur verschwindend wenig auf die Pendelschwingungen rückwirkt und auch bei relativen Schweremessungen gut anwendbar ist.

*W. Keil.*

## Eine elektrische Meßdose nach dem Prinzip des Kondensatormikrometers.

*Von* H. Gerdien. *Wissensch. Veröffentl.. a. d. Siemenskonzern.* ***VIII.*** *S. 126—129. 1929.*

Bei der Anordnung des Kondensatormikrometers zur Messung des Momentanwertes von Kräften wird eine Meßdose in Form eines Plattenkondensators, dessen Plattenabstand unter der Einwirkung der zu messenden Kräfte verändert wird, in einem Hochfrequenzschwingungskreis in der Schaltung von H. Riegger (Methode der halben Resonanzkurve) eingeschaltet. Die Änderung der Meßdosenkapazität kann damit in einem Strommesser oder einem Oszillographen zur Anzeige gebracht werden. Die Dimensionen der Meßdose sind so gewählt, daß die Einstellzeiten des deformierten Systems von der Größenordnung einer tausendstel Sekunde oder weniger sind, so daß die Registrierung sehr rasch verlaufender Vorgänge möglich ist. Für die Messung von Druckkräften dient eine Meßdose, bei der durch geeignete Formgebung die Einwirkung seitlicher Kraftkomponenten ausgeschaltet wird. Eine andere Ausführungsform ist für gleichzeitige Messung von Zug- und Druckkräften geeignet. Zur Messung von Drehmomenten wird die Meßdose in Form eines Torsionsdynamometers gebaut. *Lh.*

## Schnittdruckmessungen an der Drehbank mit einer elektrischen Meßdose.

*Von* W. Mauksch. *Wissensch. Veröffentl. a. d. Siemenskonzern* ***VIII.*** *S. 130—36. 1929.*

Die im vorstehenden Referat erwähnte Druck-Meßdose wird für Schnittdruckmessungen an einer Drehbank verwendet. Der Drehstrahl wird dabei in einem Stichelhaus geführt, das die Schnittdruckkräfte, die die Größenordnung von 100 kg hatten, auf die Meßdose überträgt. Die Eichung erfolgt statisch mit Hilfe einer durch Gewichte belasteten Hebelanordnung, die auf die Brustfläche des Stahles, dicht hinter der Schneidekante drückt, wo der auslaufende Span den größten Schnittdruck ausübt. Die Eichkurve ist annähernd eine Gerade. Die Versuche ergaben. daß beim Drehen von Flußeisen bei einem Spanquerschnitt bis 0,5 mm², der Schnittdruck pro, portional dem Spanquerschnitt wächst. Beim Drehen von Messing dagegen nahm der spez-Schnittdruck mit wachsendem Spanquerschnitt ein wenig ab. Bei einem Vorschub von 0,275 mm/U ergaben sich bei gleichem Spanquerschnitt um etwa 10% kleinere Schnittdrucke als bei einem Vorschub von 0,16 mm/U. Die Schnittdruckschwankungen während des Drehvorganges wurden durch oszillographisehe Aufnahmen registriert. Als mittlere Zeit für die Spanbildung ergab sich die Zeit von $^1/_{170}$ Sekunde. *Lh.*

## Untersuchungen über Herzgeräusche.

*Von* K. Posener und F. Trendelenburg. *Wissensch. Veröffentl. a. d. Siemenskonzern* ***VIII.*** *S. 228—241. 1929.*

Die Untersuchung von Herzgeräuschen erfolgte mit dem bereits in einer früheren Arbeit (F. Trendelenburg, *Wissensch. Veröffentl. a. d. Siemenskonzern* ***V.*** *S. 175. 1927*) beschriebenen Hochfrequenzkondensatormikrophon nach H. Riegger durch oszillographische Aufzeichnung. Da die Herzgeräusche meist in einem Frequenzbereich von 200—400 Hz liegen, in dem die Empfindlichkeit des menschlichen Ohres wesentlich größer ist als bei den niedrigeren Frequenzen der normalen Herztöne wurde eine Verstärkerapparatur geschaffen, deren Frequenzempfindlichkeit der Empfindlichkeit des Gehörs besser entspricht als der bisher verwendete gleichmäßig arbeitende Verstärker. Die durch diesen gehörähnlich arbeitenden Verstärker aufgenommenen Bilder zeigen die Geräusche in ähnlich markanter Weise, wie sie vom Gehör subjektiv beobachtet werden. Die früher gefundenen scheinbaren Divergenzen zwischen den mit der physikalisch gleichmäßig arbeitenden Apparatur aufgezeichneten Schallbildern und dem subjektiven Auskultationsbefund sind danach in der Frequenzkurve der Gehörempfindung begründet. *Lh.*

### Druckmessungen an Walzenlagern.

*Von* O. v. Auwers. *Wissensch. Veröffentl. a. d. Siemenskonzern.* ***VIII.*** *S. 137—143. 1929.*

Zur Messung der Drucke und Druckschwankungen in den Walzenlagern von Walzwerken diente eine Meßdose der Kondensatormikrometeranordnung, die zwischen Druckspindel und Walzenlager einer Versuchswalze eingebaut und so dimensioniert war, daß sie die auftretenden hohen Walzdrucke aufnehmen konnte. Die Eichkurve hat die Form der Resonanzkurve des verwendeten Hochfrequenzschwingungskreises. Die Versuche wurden mit Kupfer, Aluminium, Zinn, Blei, Messing und Eisen durchgeführt. Aus den oszillographischen Aufnahmen ist Stichtiefe (Walzdruck) und Längenänderung des Walzgutes zu entnehmen. Hieraus läßt sich die Deformationsarbeit bestimmen. Bei den vier erstgenannten Stoffen verhalten sich beispielsweise die Deformationsarbeiten bei gleichen Stichtiefen wie 1 : 1, 4 : 60 : 880. *Lh.*

## Bücherbesprechungen.

**P. Schmalzl,** Zur Geschichte des Quadranten bei den Arabern. 142 S. mit 26 Abb. Salesianischer Verlag 1929. Geh. 4,50 RM.

P. Schmalzl bespricht das bei den Arabern neben dem Astrolab am weitest verbreitete astronomische Handinstrument, den Quadranten in seinen verschiedenen Abarten. Er geht dabei auf die Urquellen zurück, soweit sie greifbar sind.

Zunächst behandelt er den feststehenden Quadranten in seiner geschichtlichen Entwicklung. Ein jüngerer Repräsentant dieser Instrumente, den al'Urḍî im 13. Jahrhundert auf der Sternwarte zu Marâgha errichtete, wurde bereits in *dieser Zeitschr.* ***49.*** *S. 357 uff. 1929* beschrieben.

Viel jüngeren Datums wie die Ortsquadranten scheinen die tragbaren Quadranten zu sein. Es läßt sich nicht angeben, wer sie zum erstenmal in Gebrauch genommen hat. Ibn Yûnus († 1009) spricht zum erstenmal von einem solchen Handinstrument. Seinen Worten ist zu entnehmen, daß es damals schon allgemein in Gebrauch war. Mit Recht nimmt daher Schmalzl an, daß der tragbare Quadrant mindestens im 10. Jahrhundert n. Chr. aufgekommen ist. Ebenso muß man dem Verfasser beipflichten in der Annahme, daß sich der Quadrant aus dem Astrolab entwickelt hat. Dasselbe ist in *dieser Zeitschr.* ***46.*** *S. 45 uff. 1926* besprochen worden. Die Rückseite dieses Instrumentes zeigt einen Quadranten in der einfachsten Form, einzelne Linien auf dieser Seite finden sich wieder auf verschiedenen Quadranten, wie unten gezeigt wird.

Eine spezielle Form des Quadranten, der Muqanṭarât-Quadrant, ist eine Nachbildung der Vorderseite des Astrolabs. Er ist wie fast alle Quadranten begrenzt von einem Viertelkreis, der zwischen zwei zueinander senkrechten Radien liegt. Der Viertelkreis ist in 90 Grade und in kleinere Einheiten unterteilt. Im Innern sehen wir wie auf dem Astrolab die stereographische Projektion der zu einem gewählten Ortshorizont parallelen (Muqanṭarât) und vertikalen Kreise, wobei naturgemäß nur eine der beiden Hälften, in die die Meridianlinie die Scheibe des Astrolabs teilt, auf dem Quadranten Platz findet. Dieser Teil der Projektionslinien genügt aber auch für alle durch das Astrolab zu lösenden Aufgaben, da die beiden oben erwähnten Hälften kongruent sind. Die genannte Meridianlinie wird beim Quadranten durch den einen der beiden Radien dargestellt, während der andere die stereographische Projektion des Horizonts am Erdäquator bzw. die Ost-Westlinie des Osthorizonts darstellt. Auch die Projektion der Umlaufskreise der Sternbilder Steinbock, Widder und Waage, Krebs zeigt der Quadrant. Sie sind begrenzt von der Meridianlinie und der Linie des Horizonts. Bei manchen Exemplaren geht die Projektionslinie des Krebskreises über die des Horizontes hinaus einen Halbkreis bildend. In dem von diesem eingeschlossenen Raum sind unterhalb des Horizontes die Projektionen von Parallelkreisen gezogen, die auch im Weltraume unter dem Ortshorizont liegen. Dieser Teil des Quadranten heißt Überschußbogen. Die Ansicht des Verfassers, daß diese Muqanṭarât der Depression, wie sie die Araber nennen, nur diesem Quadranten eigentümlich sei, dürfte nicht in vollem Maße zutreffen. Al Bîrûnî gibt z. B. in seiner Schrift über das Astrolab Kitâb fî istî'âb (Leidener Hs. Nr. 1066) für die Astrolabscheibe die Konstruktion der Höhenparallelen unter dem Horizont an. Man muß daraus schließen, daß wenigstens gelegentlich die Projektion dieser Kreise gezeichnet wurde, wenn auch solche Astrolabien

anscheinend uns nicht erhalten sind. Den drehbaren Teil des Astrolabs, die Spinne, vertritt beim Quadranten ein Faden, der sich um den Mittelpunkt des Viertelkreises dreht, und eine Perle, die auf ihm verschiebbar ist. Sie wird bei der mechanischen Lösung einer Aufgabe bei gespanntem Faden auf die stereographische Projektion eines gewählten Sternbildes gelegt. Wird der Faden über die Quadrantfläche bewegt, beschreibt die Perle die Projektion des Umlaufskreises dieses Sternes. Die auf der Spinne des Astrolabs gezeichnete Projektion des Tierkreises und bestimmter Sterne sind beim Quadranten wegen Wegfall der Spinne in das Horizontsystem bzw. außerhalb davon gezeichnet. Die Ekliptikprojektion besteht hier aus zwei Kreisbögen, die vom Schnittpunkt des Äquatorkreises mit dem Ortshorizont ausgehen und bis zur Meridianlinie laufen. Auf dem kleineren Bogen sind die drei nördlichen Tierkreiszeichen Widder, Stier und Zwillinge und damit auch die drei anderen nördlichen, auf dem größeren die drei südlichen Fische, Wassermann und Steinbock bzw. die restigen projiziert. Ferner finden wir wie auf dem Astrolab auf dem Muqanṭarât-Quadranten die Linien für die äquatorialen (gleichförmigen) und für die örtlichen Stunden, weiter die sogenannten Gebetslinien. Diese Linien geben die Stunde an bzw. den Zeitpunkt, zu dem die Muslime ihre täglichen Gebete verrichten mußten. Auf der gleichen Seite des Quadranten finden wir den Schatten- und den Sonnenquadrant, die beide beim Astrolab auf der Rückseite gezeichnet sind. Ersterer ist dem Quadrantenbogen benachbart und gestattet für jeden Winkel den zugehörigen Wert der Tangente bzw. Cotangente abzulesen. Der Sonnenquadrant im Innern des Krebskreises besteht aus 6 Kreisbögen. Sie gehen alle vom Mittelpunkt des Quadranten aus, ihre Endpunkte liegen auf dem in Grad geteilten Krebskreis je 15 Grad voneinander abstehend. Diese Linien dienen zur Bestimmung der zeitlichen Stunden und nicht, wie der Verfasser glaubt, der gleichförmigen Stunden (s. J. Drecker, Theorie der Sonnenuhren, Bd. I, Lieferung E, S. 86, 1925 in: Geschichte der Zeitmessung und der Uhren). Der Muqanṭarât-Quadrant weist auf manchen Instrumenten noch zwei geteilte zum Krebskreis konzentrische Kreisbögen auf, die sich beim Astrolab nicht finden, nämlich den Deklinations- und den ʿAṣr-Bogen. Mittels ersterem kann man zu jeder astronomischen Länge eines Tierkreiszeichens, die auf dem Quatrantenbogen gemessen und auf die der Faden gelegt wird, die zugehörige Deklination ablesen, die der Faden abschneidet, während man ähnlich für jede Kulminationshöhe der Sonne ihren Vertikalabstand zur Zeit der beiden ʿAṣr-Gebete auf dem zweiten Bogen findet. Beim Astrolab ist die Ermittlung dieser Größen umständlicher.

Als nächste Instrumente bespricht der Verfasser die Dastûr-Instrumente, den Dastûr-Kreis und den Dastûr-Quadranten. Sie dienen vor allem zur nomographischen Lösung algebraischer Beziehungen. Ersterer ist ein in 360 Grad geteilter Kreis mit zwei zueinander senkrechten Durchmessern, bei denen die Zählung der $4 \times 90$ Grade beginnt bzw. endigt. Durch die einzelnen Grade sind im Innern Parallele zu den beiden Durchmessern gezogen. Sie werden dadurch in 90 ungleiche und durch 60 äquidistante zum Randkreis konzentrische Kreise in 60 gleiche Teile geteilt. Vom gemeinsamen Mittelpunkt gehen zu den Teilpunkten des Randkreises Radien aus. Man kann diese Liniensysteme auffassen als die Orthogonalprojektion der verschiedenen Himmelskoordinatensysteme, z. B. als die des Horizontsystems; der Randkreis stellt den Horizont dar, die konzentrischen die Höhenparallelen, die 360 Durchmesser den Schnitt der Vertikalkreise mit ersterem. Indem man dieses System einmal als Horizont-, dann gleichzeitig als Äquator- oder Ekliptiksystem auffaßt, kann man eine Reihe astronomischer Aufgaben lösen. Dabei ist man nicht wie beim Muqanṭarât-Quadranten an eine bestimmte geographische Breite gebunden. Erleichtert und erweitert wird die Durchführung durch ein um den Mittelpunkt drehbares Lineal, die Alhidade, die ebenfalls in 60 bzw. 90 Teile geteilt ist. In irgendeiner Lage stellt sie den Schnitt eines größten Himmelskreises mit dem Meridian dar, als den der Randkreis aufgefaßt werden kann. Vor allem dient aber das Liniensystem zur bildlichen Darstellung der trigonometrischen Funktionen und zur graphischen Auflösung solcher Ausdrücke.

Ein Viertel des Dastûr-Kreises bildet den Dastûr-Quadranten, dessen Leistungsfähigkeit über die des Kreises hinausgeht bei gleicher Flächengröße. Auf diesem Instrument finden sich auch Linien verzeichnet, die uns bei dem eben besprochenen Quadranten schon begegnet sind, nämlich der Deklinations-, der ʿAṣr-Bogen, und ferner die orthogonale Projektion der Umlaufskreise einiger Fixsterne. Damit kann die augenblickliche Stellung dieser Sterne ermittelt werden.

Wesensver" ndt mit diesem Quadranten ist der Sinus-Quadrant. Er ist einfacher gestaltet, da auf ihm die konzentrischen Kreise und die Durchmesser fehlen. Die Verwendungsmöglichkeit wird aber dadurch kaum eingeschränkt, da mit Hilfe der Alhidade der gleiche Zweck erreicht werden kann. Diese wird beim Sinus-Quadranten durch eine Schnur mit beweglicher Perle ersetzt, die im Mittelpunkt des Quadranten befestigt ist. Abweichend von dem vorgenannten Quadranten finden wir auf diesem zwei Halbkreise, deren Durchmesser mit der einen bzw. der anderen den geteilten Randkreis begrenzenden Geraden zusammenfällt. Die Halbkreise dienen zur Umwandlung der Sehnenstrecken in Sinuswerte (s. u. den Quadranten mit dem verborgenen Sinus). Gegenüber den erst besprochenen Quadranten haben die letzteren den Vorteil der einfacheren Herstellung, der bereits erwähnten Möglichkeit zur Auflösung allgemeiner nicht nur rein astronomischer trigonometrischer Funktionen und der Verwendungsmöglichkeit an jedem Ort.

Die beiden folgenden Quadranten, die von dem berühmten arabischen Astronomen des 14. Jahrhunderts Ibn al Schâṭir stammen, spricht der Verfasser mit Recht als Vorläufer des Rechenschiebers an, weil man mit ihnen auch die Operationen der Multiplikation, der Division und des Wurzelausziehens auf mechanischem Wege durchführen kann. Der eine Quadrant, der ʿAlâsische, zeigt das rechtwinklige Koordinatensystem wie die vorhergehenden, außerdem sind aber noch die Parallelen zur Sehne des Viertelskreises gezogen, so daß die Quadrantenfläche mit ähnlichen gleichschenklig rechtwinkligen Dreiecken überdeckt ist. Die Durchführung der Lösungen besteht darin, daß man dieses Liniensystem mit dem durch den Quadrantenmittelpunkt gehenden Faden in ähnliche Dreiecke zerlegt, deren eine Seite als 4. Proportionale das Resultat liefert, während die anderen Seiten entsprechend den gegebenen Größen in der Länge gewählt als die anderen Glieder dieses Verhältnisses angesehen werden. Wegen des rechtwinkligen Koordinatensystems gestattet dieser Quadrant auch die graphische Darstellung trigonometrischer Ausdrücke.

Der zweite Quadrant, der vollkommene, ist eine Spielart des eben genannten. Die Begrenzungslinien sind die gleichen wie dort, in das Innere ist aber ein gleichseitiges Dreieck gezogen, dessen eine Seite mit einem der beiden Radien zusammenfällt. Zu jeder der beiden anderen Seiten sind je 60 Parallele gezogen, so daß die beiden dabei entstehenden Liniensysteme sich überdeckende gleichseitige Dreiecke bilden. Die Art der Verwendung des Quadranten ist ganz ähnlich der des vorgenannten.

Der Quadrant mit dem verborgenen Sinus steht dem Sinus-Quadranten nahe, indem er die beiden Halbkreise über den Begrenzungsradien allerdings als einziges Liniensystem zeigt. Benutzt wird aber anscheinend nur ein Halbkreis, der in 90 gleiche Teile geteilt ist. An jedem Ende des zugehörigen Durchmessers ist ein Faden mit verschiebbarer Perle angebracht. Das Verwendungsprinzip besteht darin, daß man die Fäden über einem passenden Punkt des Halbkreises sich schneiden läßt, also ein rechtwinkliges Dreieck mit den Fäden als Katheten bildet. Auf den Schnittpunkt wird die Perle gelegt. Die Strecke zwischen ihr und dem Drehpunkt, gemessen an dem geteilten Begrenzungsradius, worauf man den Faden legt, gibt den Wert des Sinus usw. des gegebenen Winkels.

Der geflügelte Quadrant wird in ähnlicher Weise benutzt wie der Sinus-Quadrant. Er zeigt wie dieser die beiden Halbkreise über den Begrenzungsradien. Innerhalb dieser sind weitere Halbkreise gezogen, deren Durchmesser auf dem der großen liegen. Die einen Halbkreise haben einen gemeinsamen Punkt im Mittelpunkt des Quadranten, die des zweiten Systems im zweiten Endpunkt des anderen Begrenzungsradius.

Die Besprechung der ostarabischen Quadranten beschließt der Verfasser mit der Beschreibung des einzigen uns bekannten Oktanten. Er ist auf seiner Vorderseite ein Muqanṭarât-Quadrant, der um seine Mittellinie, d. h. um den durch den Halbierungspunkt des Begrenzungskreises gehenden Radius zusammengefaltet ist. Dabei sind alle Linien, die sich auf der oberen Hälfte befinden, ebenfalls auf die untere eingezeichnet. So kommt es, daß z. B. die Ekliptik, die beim Muqanṭarât-Quadranten aus zwei Kreisbögen besteht, beim Oktanten durch 4 dargestellt werden muß. Das Verfahren mit dem Instrument entspricht dem mit dem Muqanṭarât-Quadranten. Die Rückseite des Oktanten scheint der graphischen Auflösung mathematischer Ausdrücke gedient zu haben. Der eine Begrenzungsradius ist in 90, der andere in 60 Teile geteilt. Durch die 60 Teilpunkte sind Parallele zum anderen Radius gezogen, die den Kreisbogen in ebenso viele Teile teilen. Ob das

Verfahren mit diesem Liniensystem das vom Verfasser angegebene ist, erscheint mir doch etwas zweifelhaft. Die gewonnenen Resultate sind allzu ungenau, übrigens würde in dem angegebenen Beispiel eine Gerade genügen, die sowohl 60 wie 90 Teile aufweist. Sollte dieses Liniensystem nicht in ähnlicher Weise benutzt werden wie das der Quadranten des Ibn al Schâṭir?

Der Verfasser beendet seine Schrift mit der Beschreibung von westarabischen Quadranten. Als ihr Hauptcharakteristikum muß man die Ausrüstung mit einem Kalendarium bezeichnen, das bei den ostarabischen Instrumenten fehlt. Die Form, die der westarabische Quadrant auf dem Wege über Spanien im Abendlande angenommen hat, ist bei der Besprechung der Schrift J. Drecker, Theorie der Sonnenuhren, in *dieser Zeitschr.* ***45.*** *S. 510. 1925* bereits beschrieben. Die Urform geht wohl auf den Westaraber des 11. Jahrhunderts al Zarqâlî zurück. Sein Kalendarium gibt nicht wie das abendländische an, an welchem Tage die Sonne in einem bestimmten Grad des Tierkreises eintritt, es enthält nur eine Darstellung des Tierkreises. Der betreffende Kalendertag kann nicht unmittelbar abgelesen werden, er muß bereits bekannt sein, um das Instrument benutzen zu können bzw. erst ermittelt werden. Der Westaraber al Marrâkuschî beschreibt noch einige Quadranten, die vielleicht die Rückseite anderer waren. Sie zeigen wesentliche Unterschiede gegenüber den oben beschriebenen in der Art und Weise der Konstruktion der Stunden- und Gebetslinien. Die ein und andere Durchführungen derselben sind uns vom Astrolab her bekannt. Andere beruhen auf der Verwendung neuartiger Koordinatensysteme für die Tierkreiszeichen, die eigentlich keinen Fortschritt bedeuten, sondern eher als Ausfluß einer freudigen Lust, neue Wege zu gehen, anzusehen sind.

Auffallend ist, daß bei den beschriebenen Quadranten arabischen Ursprungs keine Alhidade mit Absehen zum Anvisieren Verwendung fanden, obwohl das Astrolab oder z. B. der große Quadrant von al ʿUrḍî mit einer solchen ausgerüstet war. Bei den beschriebenen Quadranten sitzen die Absehen anscheinend immer auf einer Quadrantenkante, während der Winkel mittels des mit einem Gewicht beschwerten Fadens an der Gradteilung abgemessen wird. In dieser Form konnte der Quadrant nicht wie die Rückseite des Astrolabs zu geodätischen Winkelmessungen verwendet werden. Erst G. Reisch beschreibt 1508 einen Handquadranten mit Alhidade. Seine Ansicht, daß er auf Euklid zurückgeht, läßt sich kaum beweisen.

Jeder, der sich mit Studien der Astronomie im Reiche des Islams beschäftigt, wird die vom Verfasser am Schlusse seiner Schrift gegebene Zusammenstellung der von den Arabern meist benutzten Bezeichnungen und ebenso die Übersicht der in Betracht kommenden arabischen und nichtarabischen Literatur angenehm empfinden.

Bei einer etwaigen Neuauflage der Schrift wäre auf sorgfältige Ausmerzung einiger sinnstörender Druckfehler zu achten. Vielleicht kann der Verfasser sich entschließen, in einer gesonderten Schrift aufzuzeigen, welche der aufgeführten Instrumente Eingang in das abendländische Mittelalter gefunden haben, in welcher Weise sie auf die Gelehrten und Konstrukteure solcher und ähnlicher Instrumente dort befruchtend gewirkt und welche etwaigen Änderungen und Verbesserungen diese arabischen Quadranten durch sie erfahren haben.

Endlich sei noch bemerkt, daß die S. 35 der Abhandlung erwähnte Schrift von al Gedosî ins Deutsche übertragen vor kurzem erschienen ist (J. Würschmidt, Die Schriften Gedosis über die Höhenparallelen und über die Sinustafel. *Sitzungsber. d. Physikal.-Med. Soz. zu Erlangen.* ***60.*** *S. 127 uff. 1928*).

*J. Frank.*

## Generalregister.

Mit dem hier vorliegenden Dezemberheft erscheint das Generalregister für die Jahrgänge 1911 bis 1930 der Zeitschrift für Instrumentenkunde und für die Jahrgänge 1911—1920 der Deutschen Mechanikerzeitung. Umfang VIII und 96 S. bzw. VIII und 44 S. Preis RM. 15.60.

Nachdruck verboten.

# Namen- und Sachregister.


**Ackerl**, F., Ermittlg. der Zahnkranzfehler einer automat. Kreisteilmaschine von G. Heyde nebst Bestimmung der Strichfehler eines auf dieser Maschine geteilten Kreises 511.
**Aktinometrie:** Instrument zur opt. Prüfg. der Linsen im Sonnenscheinautographen, Bilham 481.
**Akustik:** Akustischer Dehnungsmesser, Kurrein 169. — Üb. Eigenschaften einer Stimmgabel aus geschmolzenem Quarz, Harrington 211. — Die Schalltechnik 284. — Zur Theorie des Hörens. Üb. die eben merkbare Amplituden- u. Frequenzänderung eines Tones. Die Theorie der Schwebungen, v. Bekesy 482.
Albers, Vernon M., Vakuumbogenlampe 392.
**Allgemeines:** An unsere Leser und Mitarbeiter! Kuratorium, Schriftleitung u. Verlag der Zeitschr. f. Instrumentenkunde 1. — Einführung des Begriffes „Halbschwingung“ bei Zeitmessern 120. — Zuschrift. Bezeichnung des Standes u. des Ganges einer Uhr 227. 4. Internat. Kongreß d. Geometer in Zürich 443
Analysatoren (harmonische) s. Rechenapparate.
Anderson, J. S., Üb. d. Prüfg. eines neuen photograph. Verschlusses 387.
Anderson, John S., s. Smith.
Arcay, P., *Les huiles en horlogerie* 663.
v. Ardenne, M., Verstärkermeßtechnik. Instrumente u. Methoden 663.
**Astronomie:** Üb. die Entwicklg. der astronom. Instrumente im Zeisswerke Jena, Meyer 58. — Üb. Aufnahmen der Sonne durch Ultraviolettstrahlen u. Fluoreszenslicht, Strebel 166. — Die Sternwarten Kassels in hessischer Zeit, Hallo 224. — Die Bergedorfer Plattenmesser für das Zonenunternehmen der Astronom. Gesellschaft, Schorr, Dolberg 445. — Meridianbestimmung m. dem Sonnenkompaß, Theimer 477. — Die Wunder des Weltalls, Chant 491. — Untersuchgn. üb. die Genauigkeit von Längenbestimmungen auf funkentelegraph. Wege unter besonderer Berücksichtigung der Zenithrefraktion, Mahnkopf 558. — Hilfsbuch der astronom. Photographie, Gramatzki 662. — Zur Geschichte des Quadranten bei den Arabern, Schmalzl 709.
Auerbach, F., u. W. Hort, Handbuch der physikal. u. techn. Mechanik 396.
Ausdehnung s. Wärme.
**Ausstellungen:** Opt. Neuerungen auf der Achema, Löwe 705.
v. Auwers, Otto, Üb. den Einfluß der Korngröße auf die magnet. Eigenschaften des Eisens 223. — Druckmessungen an Walzenlagern 709.

Bäckström, H., Üb. die Dezimalgleichg. beim Ablesen von Skalen 561, 609, 665.
Baeschlin, F., Zur Theorie der Wild-Autographen 272.
Baker, T. Y., Die Fehler eines reflektierenden Prismas 166.
Bayne-Jones, S., u. L. V. Foster, Registriergalvanometer 390.
Beck, F., Ein neuer Trommelaufnahme-Apparat 219. — Rohrkamera 334.
v. Bekesy, G., Zur Theorie des Hörens. Üb. die eben merkbare Amplituden- u. Frequenzänderung eines Tones. Die Theorie der Schwebungen 482.
Bennett, A. H., Interferenzmethode zur Bestimmung der Aberrationen auf der Achse u. in schiefen Bündeln 213.
Berchtold, E., Der Wild-Autograph 272.
Berger, E., Wissenschaftl. u. techn. Fortschritte auf dem Gebiete des opt. Glases 155.
**Bergmännische Apparate:** Hängetheodolit f. den Ölbergbau, Lüdemann 423.
Berndt, G., Grundlagen u. Geräte techn. Längenmessungen 281. — Die deutsch. Gewindetoleranzen 492. — Bestimmung der elast. Konstanten 624, 679.
Berndt, G., u. E. Bock, Neues Verfahren z. Messg. von Innengewinden 375, 407.
Biczyk, J., Verkürzte Kreisbrücke m. zusätzl. Widerständen 645.
Bilham, E. G., Instrument zur opt. Prüfg. der Linsen im Sonnenscheinautographen 481.
**Biographie:** Joseph Fraunhofers Leben, v. Rohr 118. — Vom Hirten zum Erfinder, Pupin 284.
Bock, E., s. Berndt.
Bock, Friedrich, Abänderung des Wintersteinschen Mikrorespirationsapparates 322.
Bock, H., Verzahnungsfragen, insbesondere das Profil kleinster Reibungsarbeit u. die Invarianz gegen Achsenverschiebung 99. — Riefleruhr m. Schwerkrafthemmung 109.
Boegehold, H., Einige Notizen zu alten engl. Objektiven 217. — Üb. die Entwicklg. der Theorie der opt. Instrumente seit Abbe 604.
Bogoliuboff, N., s. Kryloff.
Bonsdorff, J., Verhandlgn. der balt. geodät. Kommission 225.
Brechung s. Optik.
Breckenridge, F. Chapin, u. J. E. Nolan, Relative Sichtbarkeit der Lichtblitze von Neonlampen u. von Glühlampen mit u. ohne Rotfilter 652.
Breithaupt, G., u. W. Uhink, Üb. einige Neuerungen an Breithaupt-Instrumenten 539.
Buckley, I. P., s. Epstein.

Carrière, M. Z., Ultramikroskop. Untersuchg. von Luftschwingungen 389.
Cassie, A. B. D., Ausschaltg. magnet. Störungen bei hochempfindl. Nadelgalvanometern 603.
Chant, Clarence A., Die Wunder des Weltalls 491.
**Chemie:** Vakuummantelflaschen aus Metall für flüssigen Wasserstoff, Meißner, Voigt 121. — Opt. Neuerungen auf der Achema, Löwe 705.
Chronographen s. Zeitmessung.
Cohn, Willi M., Üb. einen Komparator für Ausdehnungsmessungen fester Körper bis zu 1400° C 198.
Côller, Lewis R., Üb. einige Eigenschaften von Photozellen 277.
Conrad-Billroth, H., Üb. eine Vorrichtg. zur automat. Elektrodennachstellg. beim Unterwasserfunken 268.
Conrady, A. E., Ch. R. Davidson u. a., Die Photographie in Wissenschaft u. Praxis 664.
Cordle, L. C., s. Smith.

Court, Thomas H., u. Moritz v. Rohr, Üb. die Entwicklg. der Brillen in London seit dem Ende des 17. Jahrhunderts 218.
Cranz, C., u. H. Schardin, Kinematographie auf ruhendem Film u. mit extrem hoher Bildfrequenz 482.
Curtis, Heber D., Komparator neuer Bauart 702.
Cuypers, Die Besonderheiten der Schmiertechnik bei feinmechan. Instrumenten unter Berücksichtigg. neuerer Forschungsergebnisse 660.

Dargenton, A., Ein Satz über die Brechung von Lichtstrahlenbündeln. Anwendg. auf die Berechnung der Leuchtdichte 216.
Davidson, Ch. R. u. a., s. Conrady.
Davidson, G. F., Rechenschieber für Feuchtigkeitsmessungen 593.
Dines, L. H. G., *The Dines balloon meteorograph and the methode of using it* 662.
Dolberg, F., s. Schorr.
Drehspulgalvanometer s. Elektrizität.
Drehwaage s. Schwere.
**Druck:** Dampfdrucke einiger wäßriger Lösungen u. ihre Verwendg. zur Herstellg. bestimmter relativ. Feuchtigkeiten, Ebert 43. — Vakuummantelflaschen aus Metall für flüssigen Wasserstoff, Meißner, Voigt 121. — Empfindl. Mikromanometer, Hodgson 169. — Vakuumtechn. Neuerungen für Hochvakuumapparaturen, Knoll 220. — Üb. registrierende Vakuummeter, Hickman 279. — Neues Pirani-Vakuummeter, de Vries 280. — Neue Mc Leod-Manometer, Underwood 280. — Nichtporöse Aluminiumlegierungen für vakuumdichte Gußstücke, Nichols 280. — Piëzoelektr. Messungen von Druck- u. Beschleunigungskräften, Kluge, Linckh 386. — Einfluß der Ionisierung auf die Sauggeschwindigkeit von Diffusionspumpen, Knipp, Ludolph 389. — Wasserstrahlgebläse für Laboratorien, Gilbert 391. — Üb. ein Strömungsmanometer, Gerlach, Mayer 481. — Kontinuierl. ablesbares Vakuummeter für mittlere Drucke, Johnson, Harrison 592.
Duckert, P., Zur Frage der Küstenbrechg. u. Peilschwankg. elektromagnet. Wellen 220.

Ebert, H., Dampfdrucke einiger wäßriger Lösungen u. ihre Verwendg. zur Herstellg. bestimmter relativer Feuchtigkeiten 43. — Üb. das Verhalten von Fieberthermometern 397.
Eggert, O., Die Entwicklg. der photogrammetr. Auswertungsgeräte in Deutschland 272.
**Einheiten:** Üb. die geschichtl. Entwicklg. der elektr. Einheiten, v. Steinwehr 19.
**Elastizität:** Neues Extensometer, Zahradníćek 600. — Bestimmung der elast. Konstanten, Berndt 624, 679.
**Elektrizität:** I. Theoretische Untersuchungen u. Meßmethoden: Üb. die geschichtl. Entwicklg. der elektr. Einheiten, v. Steinwehr 19. — Üb. den photoelektr. Effekt des Aluminiums u. seiner Amalgame I, Smits, Gerding 220. — Zur Frage der Küstenbrechung u. Peilschwankung elektromagnet. Wellen, Duckert 220. — Beurteilung von Eisenkernen in der Schwachstromtechnik, Lohrmann 223. — Elementare Theorie der Elektrometer, insbesondere des Fadenelektrometers, Perucca 257. — Piëzoelektr. Messungen von Druck- u. Beschleunigungskräften, Kluge, Linckh 386. — Die lichtelektr. Zelle als Meßinstrument, Sewig 426. — Üb. die Fehler der Scheitelspannungs-Messg. vermittels röhrengleichgerichtetem Kondensatorstrom, König 483. — Der Einfluß des Ziehens auf den Temperaturkoeffizienten des elektr. Widerstandes bei Konstantan, Spilsbury 655. — Vergleich von Selen- u. Photozellen, Schröter, Ilberg 657. — Verstärkermeßtechnik, Instrumente u. Methoden, v. Ardenne 663. — Eine elektr. Meßdose nach dem Prinzip des Kondensatormikrometers, Gerdien 708.
II. Vorrichtungen z. Erzeugung v. Elektrizität: Tellur-Thermoelemente, Lange, Heller 277. — Üb. einen Apparat zur Erzeugg. von tonfrequenten Wechselströmen m. rechteckiger Kurvenform, Keil, Sewig 582.
III. Meßinstrumente: Einige Beleuchtungseinrichtungen f. das Saitengalvanometer, Köhler 146. — Üb. die Anwendg. der galvanometr. Registriermethode in seism. Gebieten, Wilip 163. — Neues Seismometer mit elektromagnet. Dämpfung u. elektromagnet. sowie opt. Vergrößerung, Wenner 163. — Ein- u. Ausführung von Platten u. Filmen an Kathodenoszillographen ohne Störung des Hochvakuums, Hochhäusler 222. — Elementare Theorie der Elektrometer, insbesondere des Fadenelektrometers, Perucca 257. — Üb. ein neues elektr. Registriergerät, Matthews 276. — Verkürztes Skalenfernrohr zur Messg. von Winkelausschlägen, Koenigsberger 374. — Registriergalvanometer, Bayne-Jones, Foster 390. — Justierbarer Wandarm für Spiegelgalvanometer, Smith, Taylor 391. — Üb. einen neuen Apparat zur Registrierung der Ausschläge von Ein- u. Zweifaden-Elektrometern, Mathias, Hess 484. — Elektromagnet. „Gleichgewichtswaage“, Rosén 484. — Das selbstgleichrichtende Röhrenvoltmeter, Suits 602. — Ausschaltg. magnet. Störungen bei hochempfindl. Nadelgalvanometern, Cassie 603. — Verkürzte Kreisbrücke m. zusätzl. Widerständen, Biczyk 645. — Ein neues Hochspannungselektrometer, Wulf 655. — Üb. den Bau gutisolierender radioakt. Kollektoren für luftelektr. Messungen, Grundmann 695.
IV. Beleuchtungsapparate: Üb. eine Vorrichtg. zur automat. Elektrodennachstellg. beim Unterwasserfunken, Conrad-Billroth 268. — Entladungsrohr zur Erzeugg. eines lichtstarken kontinuierl. Spektrums im Ultraviolett, Lau 581. — Relative Sichtbarkeit der Lichtblitze von Neonlampen u. von Glühlampen mit u. ohne Rotfilter, Breckenridge, Nolan 652. — Vorrichtg. zum Schutz der Quecksilberdampflampen m. Wasserstromkühlung, Piatti 656.
V. Allgemeines: Vakuumbogenlampe, Albers 392.
VI. Literatur: Relais u. Schutzschaltungen in elektr. Kraftwerken u. Netzen 396. — Wechselstrom-Leistungsmessungen, Skirl 441. — Kurzes Lehrbuch der Elektrotechnik, Thomälen 442.
Elektrometer s. Elektrizität.
Elektroskope s. Elektrizität.
Emanationsmeßapparate s. Radioaktivität.
Entfernungsmesser s. Geodäsie VI.
Epstein, S., u. J. P. Buckley, Üb. metallograph. Polieren u. eine selbsttätige Poliermaschine 603.
Erdmagnetismus s. Magnetismus.

Felgentraeger, W., Verzeichnungsfehler bei okularmikroskop. Messungen am Mikroskop 189.
**Fernrohre:** Messg. der axialen Aberrationen von teleskop. Systemen geringer Vergrößerung, Mourashkinsky, Savostianoff 215. — Die Lagrangesche Formel f. die Vergrößerung beim Zeiss-Wild-Fernrohr, Wilski 321. — Verkürztes Skalenfernrohr zur Messung von Winkelausschlägen, Koenigsberger 374.
**Flüssigkeiten:** Dampfdrucke einiger wäßriger Lösungen u. ihre Verwendg. z. Herstellg. bestimmter relativer Feuchtigkeiten, Ebert 43. — Vakuummantelflaschen aus Metall für flüssigen Wasserstoff, Meißner, Voigt 121. — Untersuchgn. üb. Unterkühlungs- u. Veränderungserscheinungen an

verschiedenen Thermometerflüssigkeiten, Grundmann 363. — Viskosimeter für kleine Flüssigkeitsmengen nach E. Madelung 647.
Foster, L. V., s. Bayne-Iones.
Freund, H., Leitfaden der kalorimetr. Methoden f. den Chemiker u. den Mediziner 226.

**Gase:** Vakuummantelflaschen aus Metall für flüssigen Wasserstoff, Meißner, Voigt 121. — Abänderung des Wintersteinschen Mikrorespirationsapparates, Bock 322. — Einfluß der Ionisierung auf die Sauggeschwindigkeit von Diffusionspumpen, Knipp, Ludolph 389. — Ultramikroskop. Untersuchung von Luftschwingungen, Carrière 389.
Gast, P., Zur Theorie photogrammmetr. Auswertegräte 653.
Geffken, H., u. H. Richter, Neue Möglichkeiten des Präzisionsuhrenbaus 559.
**Geodäsie:** I. Basismessungen. II. Astronomisch-geodätische Instrumente: Beitrag zur Bestimmung der Konstanten von Fadenentfernungsmessern, Werkmeister 180.
III. Apparate zum Winkelabstecken: The Tavistock Theodolite, Peake 212. — Bestimmung der inneren Orientierung der Kammer eines Phototheodolits, Werkmeister 246.
IV. Winkelmeßinstrumente u. Apparate f. Topographie: Theodolit von Hugershoff-Heyde zur Bestimmung der inneren Orientierung einer Meßkammer, Werkmeister 161. — Doppelkammer von Hugershoff-Heyde für stereo-photogrammetrisch auswertbare Aufnahmen, Werkmeister 162. — Neue Meßlupe u. ihre Verwendg. als Ablesevorrichtg. sowie als selbständiges Meßgerät, Hohenner 162. — Versuchsmessungen über Tage nach dem Prinzip des Breithauptschen Steckhülsenverfahrens, Harbert 173. — Abänderungen u. Ergänzungen an einem Hugershoff-Heydeschen Photogrammeter, Löschner 416. — Hängetheodolit f. den Ölbergbau, Lüdemann 423. — Der 27,5 cm - Hildebrand - Schraubenmikroskoptheodolit für die Haupttriangulation, Lüdemann 530.
V. Höhenmeßinstrumente u. ihre Hilfsapparate: Nivellierinstrument von Otto Fennel Söhne m. Einstellg. der Libelle i. Gesichtsfeld des Fernrohrs, Werkmeister 554. — Das Präzisions-Nivellierinstrument von H. Wild, Werkmeister 556.
VI. Tachymetrie: Kurventachymeter, Strohschneider 141. — Beitrag zur Bestimmung der Konstanten von Fadenentfernungsmessern, Werkmeister 180. — Beiträge zur Theorie des Doppelbild-Tachymeters von Bosshardt-Zeiss, Theimer 493. — Neues selbstreduzierendes Tachymeter (Dreibild-Tachymeter), Hugershoff 526. — Untersuchgn. üb. die Genauigkeit von Längenbestimmungen auf funkentelegraph. Wege unter besonderer Berücksichtigg. der Zenithrefraktion, Mahnkopf 558. — Üb. die Herstellg. u. Verwendg. von Luftbildplänen, Löschner 653. — Zur Theorie photogrammetr. Auswertegeräte, Gast 653. — Eine Wald-(Berg-)Bussole m. Doppelbild-Entfernungsmesser, Lüdemann 693.
VII. Allgemeines (s. a. Libellen, Planimetrie, Rechen- u. Zeichenapparate): The Tavistock Theodolite, Peake 212. — Verhandlgn. der balt. geodät. Kommission, Bonsdorff 225. — Nadirtriangulierung, Koppmair 226. — Die Lagrangesche Formel für die Vergrößerung beim Zeiss-Wild-Fernrohr, Wilski 321. — 4. Internationaler Kongreß der Geometer in Zürich 11.—14. Sept. 1930, 443. — Französ. „Anleihe“ bei der deutsch. geodät. Feinmechanik, Lüdemann 479. — Üb. einige Neuerungen an Breithaupt-Instrumenten, Breithaupt, Uhink 539. — Neukonstruktionen der Firma Ferdinand Süss, Präzisionsmechan. u. Opt. Anstalt A.G. in Budapest 586.
VIII. Literatur: Taschenbuch f. Berg- u. Hüttenleute, Kögler 119. — Lehrbuch der Markscheidekunde, Wilski 438.
**Geophysik:** Üb. die Anwendg. der galvanometr. Registriermethode in seism. Gebieten, Wilip 163. — Neuer Hochseepegel, Werner 332. — *Theory and practice of pendulum observations at sea,* Vening Meinesz 339. — Lehrbuch der Geophysik, Gutenberg 491. — Einführung in die Geophysik II, Nippoldt, Keränen, Schweidler 661. — Apparat Idrac zur Aufzeichnung der Geschwindigkeit u. Richtg. von Meeresströmungen 703.
Gerdien, H., Eine elektr. Meßdose nach dem Prinzip des Kondensatormikrometers 708.
Gerdien, H., u. W. Jubitz, Üb. einen Apparat zur Bestimmung der therm. Ausdehnung fester Körper bei hohen Temperaturen 653.
Gerding, H., s. Smits.
Gerlach, W., u. H. Mayer, Üb. ein Strömungsmanometer 481.
**Geschichte:** Zur Geschichte der Zeitschr. f. Instrumentenkunde, v. Rohr 1. — Üb. die geschichtl. Entwicklg. der elektr. Einheiten, v. Steinwehr 19. — Joseph Fraunhofers Leben, v. Rohr 118. — Joseph Blacks „Mikrowaage“ mit Reiterversatz, Speter 204. — Einige Notizen zu alten engl. Objektiven, Boegehold 217. — Üb. die Entwicklg. der Brillen in London seit dem Ende des 17. Jahrhunderts, T. H. Court, v. Rohr 218. — Die Sternwarten Kassels in hessischer Zeit, Hallo 224. — 100 Jahre P. J. Kipp & Zonen in Delft 444.
Gifford, J. William, Objektive u. Werkstoffe für Ultraviolett-Photographie 218.
Gilbert, H., u. W., Wasserstrahlgebläse für Laboratorien 391.
**Glas:** Wissenschaftl. u. techn. Fortschritte auf dem Gebiete des opt. Glases, Berger 155.
Gleason, Paul R., Reflexionsvermögen einiger Substanzen im äußersten Ultraviolett 274.
Gocht, H., Die Röntgen-Literatur. IX. Teil, 1928 395.
Goetz, A., u. M. F. Hasler, Üb. eine Methode z. Erzeugg. langer Metall-Einkristalle u. üb. Untersuchungen der die Kristall-Orientierung u. Vollkommenheit beeinflussenden Umstände 485.
Göpel, F., Verbessertes Gewindemeßgerät 33.
Gramatzki, H. I., Hilfsbuch der astronom. Photographie 662.
Grundmann, W., Untersuchgn. üb. Unterkühlungs- u. Veränderungserscheinungen an verschiedenen Thermometerflüssigkeiten 363. — Üb. den Bau gutisolierender radioakt. Kollektoren für luftelektr. Messungen 695.
Guertler, W., u. W. Leitgebel, Der metall. Werkstoff 283.
Gutenberg, B., Lehrbuch der Geophysik 491.

Halle Nachf., B., Neue Preisliste Nr. 6 492.
Hallo, R., Die Sternwarten Kassels in hessischer Zeit 224.
Hansen, G., Üb. farbfreie Kompensatoren für Interferenzrefraktometer 460.
Harbert, E., Versuchsmessungen über Tage nach dem Prinzip des Breithauptschen Steckhülsenverfahrens 173.
Harmonische Analyse s. Rechenapparat.
Harrington, E. A., Üb. Eigenschaften einer Stimmgabel aus geschmolzenem Quarz 211.
Harrison, G. O., s. Johnson.
Haschek, E., Plangitterspektroskope m. Wellenlängentrommel 597.
Hasler, M. F., s. Goetz.

Hederich, H., Der Lizenzvertrag 492.
Heilbrun, R., Wechselbad zur Materialprüfg. 590.
Helium s. Gase.
Heller, W., s. Lange.
Hess, V. F., s. Mathias.
Heyde, Gustav, Neue Preisliste über Teilmaschinen u. Hilfsinstrumente 396.
Hickmann, K. C. D., Üb. registrierende Vakuummeter 279.
Hochhäusler, P., Ein- u. Ausführung von Platten u. Filmen an Kathodenoszillographen ohne Störung des Hochvakuums 222.
Hodgson, J. L., Empfindliches Mikromanometer 169.
Hoecken, K., Sternradgetriebe 330. — Ermittlg. zusammengehöriger Objekt- u. Bildpunkte vermittels des Kardanproblems 575.
Hoffmann, H., Einheitl. Bezeichnungen für techn. Zeitmeßinstrumente 658.
Höhenmessung s. Geodäsie.
Hohenner, H., Neue Meßlupe u. ihre Verwendg. als Ablesevorrichtg. sowie als selbständiges Meßgerät 162.
Hort, W., s. Auerbach.
Hugershoff, R., Neues selbstreduzierendes Tachymeter (Dreibild-Tachymeter) 526.

Ilberg, W., s. Schröter.
**Interferometrie:** Interferenzmethode zur Bestimmung der Aberrationen auf der Achse u. in schiefen Bündeln, Bennet 213. — Anwendg. des Interferometers auf die Winkelmessg. von Prismen, Perfect 214. — Herstellg. u. Sensitometrie sehr feinkörniger photograph. Platten; Platten für Interferenzen-Photographie, Leroy 274.

Jobin, u. Yvon, Üb. einen Quarzspektrographen 595.
John, K., Üb. Dickenmessungen unter dem Mikroskop 638.
Johnson, M. C., u. G. O. Harrison, Kontinuierl. ablesbares Vakuummeter für mittlere Drucke 592.
Jubitz, W., s. Gerdien.

Kalorimetrie s. Wärme.
Kapillaritätskonstante s. Flüssigkeiten.
Karvonen, A., Berechnung der unbekannten Brechungsexponenten des Refraktometerprismas aus den bekannten Brechungsexponenten desselben 185.
Keil, W., u. R. Sewig, Üb. einen Apparat zur Erzeugg. von tonfrequenten Wechselströmen m. rechteckiger Kurvenform 582.
Keränen, J., s. Nippoldt.
**Kinematik:** Verzahnungsfragen, insbesondere das Profil kleinster Reibungsarbeit u. die Invarianz gegen Achsenverschiebg., Bock 99. — Üb. eine Methode zur Bestimmung des period. Fehlers eines Mechanismus, Tomlinson 212. — Sternradgetriebe, Hoecken 330. — Ermittlg. zusammengehöriger Objekt- u. Bildpunkte vermittels des Kardanproblems, Hoecken 575.
**Kinematographie:** Ein neuer Trommelaufnahme-Apparat, Beck 219. — Kinematographie auf ruhendem Film u. mit extrem hoher Bildfrequenz, Cranz, Schardin 482.
Klopsteg, P. E., Üb. einen Impulszähler u. seine Anwendg. 487.
Kluge, J., u. H. E. Linckh, Piëzoelektr. Messungen von Druck- u. Beschleunigungskräften 386.
Knipp, Char. T., u. P. C. Ludolph, Einfluß der Ionisierung auf die Sauggeschwindigkeit von Diffusionspumpen 389.
Knoll, M., Vakuumtechn. Neuerungen für Hochvakuumapparaturen 220.
Kögler, F., Taschenbuch f. Berg- u. Hüttenleute 119.
Köhler, A., Einige Beleuchtungseinrichtungen f. das Saitengalvanometer 146.
Kohlschütter, A., Üb. die Bestimmung period. Fehler von Meßschrauben 370.
Komparatoren s. Maßstäbe u. Längenmessungen.
**Kompasse:** Meridianbestimmung m. dem Sonnenkompaß, Theimer 477. — Deviation u. Kompensation, Vahlen 487.
Kompensatoren s. Elektrizität.
Kondensatoren s. Elektrizität.
König, A., Geometr. Optik 281.
König, H., Üb. die Fehler der Scheitelspannungs-Messung vermittels röhrengleichgerichtetem Kondensatorstrom 483.
Koenigsberger, J., Verkürztes Skalenfernrohr zur Messung von Winkelausschlägen 374.
Koppmair, J., Nadirtriangulierung 226.
**Kraft- u. Arbeitsmesser:** Eine elektr. Meßdose nach dem Prinzip des Kondensatormikrometers, Gerdien 708. — Schnittdruckmessungen an der Drehbank m. einer elektr. Meßdose, Mauksch 708. — Druckmessungen an Walzenlagern, v. Auwers 709.
Kreisteilungen s. Teilungen.
**Kristallographie:** Üb. eine Methode zur Erzeugg. langer Metall-Einkristalle u. über Untersuchungen der die Kristall-Orientierung u. Vollkommenheit beeinflussenden Umstände, Goetz, Hasler 485.
Kryloff, N., u. N. Bogoliuboff, Üb. die Theorie der indizierenden Apparate 697.
Kurrein, Akust. Dehnungsmesser 169.
Kurtz, H. F., Üb. einen neuen Quarzspektrographen 596.
**Kurven:** Kurventachymeter, Strohschneider 141.

Lahiri, Tara Kant, s. Mathur.
Lamm, H., Biegsame opt. Geräte 579.
**Lampen** (s. a. Elektrizität IV): Einige Beleuchtungseinrichtungen für das Saitengalvanometer, Köhler 146. — Vakuumbogenlampe, Albers 392. — Relative Sichtbarkeit der Lichtblitze von Neonlampen u. von Glühlampen mit u. ohne Rotfilter, Breckenridge, Nolan 652. — Vorrichtg. zum Schutz der Quecksilberdampflampen m. Wasserstromkühlung, Piatti 656.
Lange, B., u. W. Heller, Tellur-Thermoelemente 277.
Längenmessungen s. Maßstäbe.
Lau, E., Entladungsrohr zur Erzeugg. eines lichtstarken kontinuierl. Spektrums im Ultraviolett 581.
Leitgebel, W., s. Guertler.
Lejay, P., Chronograph hoher Präzision 167.
Leroy, N., Herstellg. u. Sensitometrie sehr feinkörniger photograph. Platten; Platten für Interferenzen-Photographie 274.
Leybolds Nachfolger A.G., E., Neue Preislisten 492. — Viskosimeter für kleine Flüssigkeitsmengen nach E. Madelung 647.
**Libellen:** Nivellierinstrument von Otto Fennel Söhne m. Einstellg. der Libelle im Gesichtsfeld des Fernrohres, Werkmeister 554.
Linckh, H. E., s. Kluge.
Linnik, W., Apparat zur Messg. von Verschiebungen in der Sehrichtg. 192.
Linsen s. Optik.
**Literatur** (Preislisten, Biographie, siehe diese): Joseph Fraunhofers Leben, v. Rohr 118. — Taschenbuch f. Berg- u. Hüttenleute, Kögler 119. — Die Sternwarten Kassels in hessischer Zeit, Hallo 224. — Leitfaden der kolorimetr. Methoden f. den Chemiker u. den Mediziner, Freund 226. — Ingenieur-Archiv 280. — Grundlagen u. Geräte techn. Längenmessungen, Berndt 281. — Geometr. Optik, König 281. — Der metall. Werkstoff, Guertler, Leitgebel 283. — Vom Hirten zum Erfinder, Pupin 284. — Die Schalltechnik 284. — *Theory and practice of pendulum observations at sea,* Vening Meinesz 339. — Verwendg. der Röntgenstrahlen in Chemie u. Technik, Mark 339. — Müller-Pouillets Lehrbuch der Physik 11. Aufl. Bd. 1 u. 2, 392, 393. — Die quantitative Spektralanalyse der

Elemente, Lundegårdh 394. — Die Röntgen-Literatur IX. Teil, Gocht 395. — Handbuch der physikal. u. techn. Mechanik, Auerbach, Hort 396. — Lehrbuch der Markscheidekunde, Wilski 438. — *The National Physical Laboratory, Report for the year 1928,* 439. — Wechselstrom-Leistungsmessungen, Skirl 441. — Prakt. Optik, Schrott 441. — Deviation u. Kompensation, Vahlen 487. — Lehrbuch der Geophysik, Gutenberg 491. — Die Wunder des Weltalls, Chant 491. — Der Lizenzvertrag, Hederich 492. — Üb. die Entwicklg. der Theorie der opt. Instrumente seit Abbe, Boegehold 604. — Einführung in die Geophysik II, Nippoldt, Keränen, Schweidler 661. — *The Dines balloon meteorograph and the methode of using it,* Dines 662. — Hilfsbuch der astronom. Photographie, Gramatzki 662. — Verstärkermeßtechnik. Instrumente u. Methoden, v. Ardenne 663. — *Les huiles en horlogerie,* Arcay 663. — Die Photographie in Wissenschaft u. Praxis 664. — Zur Geschichte des Quadranten bei den Arabern, Schmalzl 709.

Lohrmann, G., Beurteilg. von Eisenkernen in der Schwachstromtechnik 223.

Löschner, H., Abänderungen u. Ergänzungen an einem Hugershoff-Heydeschen Photogrammeter 416. — Üb. die Herstellg. u. Verwendg. von Luftbildplänen 653.

Lote s. Geodäsie.

Löwe, F., Opt. Neuerungen auf der Achema 705.

Lüdemann, K., Hängetheodolit für den Ölbergbau 423. — Französ. „Anleihe“ bei der deutsch. geodät. Feinmechanik 479. — Der 27,5 cm - Hildebrand - Schraubenmikroskoptheodolit für die Haupttriangulation 530. — Eine Wald-(Berg-)Bussole m. Doppelbild-Entfernungsmesser 693.

Ludolph, P. C., s. Knipp.

**Luftfahrt:** Ultrarote Strahlen zur Signalgebg. u. Orientierung im Nebel, Rothaas 598. — *The Dines balloon meteorograph and the methode of using it,* Dines 662.

**Luftpumpen:** Vakuumtechn. Neuerungen für Hochvakuumapparaturen, Knoll 220. — Einfluß der Ionisierung auf die Sauggeschwindigkeit von Diffusionspumpen, Knipp, Ludolph 389. — Wasserstrahlgebläse für Laboratorien, Gilbert 391.

Lundegårdh, H., Die quantitative Spektralanalyse der Elemente 394.

McNicholas, H. J., Absolute Methoden der Reflexmessg. 166.

**Magnetismus u. Erdmagnetismus** (s. a. Kompasse): Beurteilg. von Eisenkernen in der Schwachstromtechnik, Lohrmann 223. — Üb. den Einfluß der Korngröße auf die magnet. Eigenschaften des Eisens, v. Auwers 223. — Üb. den Einfluß des erdmagnet. Feldes auf die Schwingungszeiten von Nickelstahlpendeln, Rössiger 551. — Ausschaltg. magnet. Störungen bei hochempfindl. Nadelgalvanometern, Cassoe 603. — Einführung in die Geophysik II, Nippoldt, Keränen, Schweidler 661.

Mahnkopf, H., Untersuchgn. üb. die Genauigkeit von Längenbestimmungen auf funkentelegraph. Wege unter besonderer Berücksichtigg. der Zenithrefraktion 558. — Die Registrierung von Pendelschwingungen mittels kapazitiver Kontakte 706. — Die Registrierung von Pendelschwingungen ohne elektr. Kontakte 707.

Manometer s. Druck.

Mark, H., Verwendg. der Röntgenstrahlen in Chemie u. Technik 339.

Martin, L. C., u. T. C. Richards, Die Beziehungen zwischen Flächenhelligkeit u. optimalem Gesichtsfeld in Beobachtungsinstrumenten 165.

Masek, R., Vereinfachte Ausführung einer elektr. anzeigenden Windfahne für beliebig viele Stromkreise 384.

**Maßstäbe u. Längenmessungen:** Verbessertes Gewindemeßgerät, Göpel 33. — Apparat zur Messung von Verschiebungen in der Sehrichtg., Linnik 192. — Üb. einen Komparator für Ausdehnungsmessungen fester Körper bis zu 1400° C, Cohn 198. — Untersuchgn. üb. die Abhängigkeit der Meßgenauigkeit von der künstl. Beleuchtg., Reiter 212. — Grundlagen u. Geräte techn. Längenmessungen, Berndt 281. — Üb. die Bestimmung period. Fehler von Meßschrauben, Kohlschütter 370. — Neues Verfahren zur Messg. von Innengewinden, Berndt, Bock 375, 407. — Die Bergedorfer Plattenmesser f. das Zonenunternehmen der Astronom. Gesellschaft, Schorr, Dolberg 445. — Üb. die Dezimalgleichg. beim Ablesen von Skalen, Bäckström 561, 609, 665. — Üb. Dickenmessungen unter dem Mikroskop, John 638. — Komparator neuer Bauart, Curtis 702.

**Materialprüfung:** Akust. Dehnungsmesser, Kurrein 169. — Wechselbad zur Materialprüfg., Heilbrun 590. — Üb. metallograph. Polieren u. eine selbsttätige Poliermaschine Epstein, Buckley 603.

Mathias, O., u. V. F. Hess, Üb. einen neuen Apparat zur Registrierung der Ausschläge von Ein- u. Zweifaden-Elektrometern 484.

Mathur, Kailsh Nath, u. Tara Kant Lahiri, Üb. die Verwendg. selbsttätiger photograph. Zeitauslöser als Präzisionszeitmeßgeräte 658.

Matthews, B. H. C., Üb. ein neues elektr. Registriergerät 276.

Mauksch, W., Schnittdruckmessungen an der Drehbank m. einer elektr. Meßdose 708.

Mayer, H., s. Gerlach.

**Mechanik:** Üb. eine Methode z. Bestimmung des period. Fehlers eines Mechanismus, Tomlinson 212. — Sternradgetriebe, Hoecken 330. — Piëzoelektr. Messungen v. Druck- u. Beschleunigungskräften, Kluge, Linckh 386. — Ultramikroskop. Untersuchg. von Luftschwingungen, Carrière 389. — Handbuch der physikal. u. techn. Mechanik, Auerbach, Hort 396. — Die Besonderheiten der Schmiertechnik bei feinmechan. Instrumenten unter Berücksichtigung neuerer Forschungsergebnisse, Cuypers 660. — *Les huiles en horlogerie,* Arcay 663.

Meißner, W. u. B. Voigt, Vakuummantelflaschen aus Metall für flüssigen Wasserstoff 121.

**Metalle u. Metall-Legierungen:** Elektr. Nickelofen für metallkundl. Untersuchungen, v. Steinwehr, Schulze 194. — Üb. den photoelektr. Effekt des Aluminiums u. seiner Amalgame I, Smits, Gerding 220. — Beurteilg. von Eisenkernen in der Schwachstromtechnik, Lohrmann 223. — Üb. den Einfluß der Korngröße auf die magnet. Eigenschaften des Eisens, v. Auwers 223. — Nichtporöse Aluminiumlegierungen für vakuumdichte Gußstücke, Nichols 280. — Der metall. Werkstoff, Guertler, Leitgebel 283. — Neue Untersuchgn. des Temperaturkoeffizienten von Stahl u. Elinvar, Scrase 336. — Üb. eine Methode z. Erzeugg. langer Metall-Einkristalle u. über Untersuchungen der die Kristall-Orientierung u. Vollkommenheit beeinflussenden Umstände, Goetz, Hasler 485. — Üb. metallograph. Polieren u. eine selbsttätige Poliermaschine, Epstein, Buckley 603. — Bestimmung der elast. Konstanten, Berndt 624, 679. — Üb. das Schmelzen u. Bearbeiten des Rhodiums u. einige seiner physikal. Eigenschaften, Swanger 659.

Meßmaschine s. Maßstäbe u. Längenmessungen.

**Meteorologie** (Thermometrie s. diese): I. Barometer, Aneroide.

II. Anemometer (Windmesser): Vereinfachte Ausführung einer elektr. anzeigenden Windfahne

für beliebig viele Stromkreise, Masek 384. — Die Struktur des Windes, Schmidt 649.
III. Feuchtigkeitsmesser (Hygrometer, Psychrometer): Dampfdrucke einiger wäßriger Lösungen u. ihre Verwendg. zur Herstellg. bestimmter relativer Feuchtigkeiten, Ebert 43. — Rechenschieber für Feuchtigkeitsmessungen, Davidson 593.
IV. Regenmesser.
V. Allgemeines: Einfluß der Thermometeraufstellg. auf die Temperaturaufzeichnungen in Wien, Hohe Warte, Wagner 592. — Die Struktur des Windes, Schmidt 649. — *The Dines balloon meteorograph and the methode of using it*, Dines 662.
VI. Literatur.
Meyer, Fr., Üb. die Entwicklg. der astronom. Instrumente im Zeisswerke Jena 58.
**Mikroskopie:** Neue Meßlupe u. ihre Verwendg. als Ablesevorrichtg. sowie als selbständiges Meßgerät, Hohenner 162. — Verzeichnungsfehler bei okularmikroskop. Messungen am Mikroskop, Felgentraeger 189. — Üb. Dickenmessungen unter dem Mikroskop, John 638.
Mourashkinski, B. E., u. M. Savostianoff, Messg. der axialen Aberrationen von teleskop. Systemen geringer Vergrößerung 215.
Müller-Pouillets Lehrbuch der Physik 11. Aufl. Bd. 1 u. 2 392, 393.

*National Physical Laboratory. Report for the year 1928*, 439.
**Nautik:** Zur Frage der Küstenbrechg. u. Peilschwankung elektromagnet. Wellen, Duckert 220. — Neuer Hochseepegel, Werner 332. — Deviation u. Kompensation, Vahlen 487. — Beschreibg. eines bifilar aufgehängten, an Bord elektrisch registrier. Strommessers, Rauschelbach 594. — Relative Sichtbarkeit der Lichtblitze von Neonlampen u. von Glühlampen mit u. ohne Rotfilter, Breckenridge, Nolan 652. — Apparat Idrac zur Aufzeichnung der Geschwindigkeit u. Richtg. von Meeresströmungen 703.
Nichols, Edgar C., Nichtporöse Aluminiumlegierungen für vakuumdichte Gußstücke 280.
Nickelstahl s. Metalle.
Nippoldt, A., J. Keränen u. E. Schweidler, Einführg. in die Geophysik II 661.
Nivellierinstrumente s. Geodäsie.
Nolan, J. E., s, Breckenridge.
Normalelemente s. Elektrizität.
**Ophthalmologie:** Üb. die Entwicklg. der Brillen in London seit dem Ende des 17. Jahrhunderts, T. H. Court, v. Rohr 218.
**Optik** (s. a. Fernrohre, Interferometrie, Mikroskopie, Ophthalmologie, Photographie, Photometrie, Polarimetrie, Prismen, Spektroskopie, Spiegel): I. Theoretische Untersuchungen u. Meßmethoden: Wissenschaftl. u. techn. Fortschritte auf dem Gebiete des opt. Glases, Berger 155. — Üb. die Tiefenschärfe photogr. Objektive unter besonderer Berücksichtigung der Mikrophotographie (Vergrößerung), Schneider 164. — Die Beziehungen zwischen Flächenhelligkeit u. optimalem Gesichtsfeld in Beobachtungsinstrumenten, Martin ,Richards 165. — Absolute Methoden der Reflexionsmessung, Mc Nicholas 166. — Die Fehler eines reflektierenden Prismas, Baker 166. — Berechnung der unbekannten Brechungsexponenten des Refraktometerprismas aus den bekannten Brechungsexponenten desselben, Karvonen 185. — Verzeichnungsfehler bei okularmikroskop. Messungen am Mikroskop, Felgentraeger 189. — Interferenzmethode zur Bestimmung der Aberrationen auf der Achse u. in schiefen Bündeln, Bennett 213. — Anwendg. des Interferometers auf die Winkelmessg. von Prismen, Perfect 214. — Messg. der axialen Aberrationen von teleskop. Systemen geringer Vergrößerung, Mourashkinsky, Savostianoff 215. — Ein Satz üb. die Brechung von Lichtstrahlenbündeln. Anwendg. auf die Berechnung der Leuchtdichte, Dargenton 216. — Üb. den Durchgang schiefer Bündel durch ein symmetr. Instrument, Smith 217. — Reflektierende Systeme für Bildumkehr, Smith 217. — Photographien von Reflexions-Kaustiken, Smith, J. S. Anderson, Cordle 218. — Objektive u. Werkstoffe für Ultraviolett-Photographie, Gifford 218. — Probeprismen zur Prüfung von Refraktometern, Richter 254. — Die Definition der effektiven Wellenlängen von Farbgläsern für Zwecke der opt. Pyrometrie, Ribaud 273. — Dioptr. Untersuchungen, van der Pijl 273. — Reflexionsvermögen einiger Substanzen im äußersten Ultraviolett, Gleason 274. — Üb. einige Eigenschaften von Photozellen, Cöller 277. — Zur Wellentheorie u. Beugungstheorie opt. Systeme, Picht 308. — Die Lagrangesche Formel für die Vergrößerung beim Zeiss-Wild-Fernrohr, Wilski 321. — Die Intensitätsverteilg. in einer Kreiszylinderwelle, Picht 475. — Instrument zur opt. Prüfg. der Linsen im Sonnenscheinautographen, Bilham 481. — Ermittlg. zusammengehöriger Objekt- und Bildpunkte vermittels des Kardanproblems, Hoecken 575. — Das Prisma, dessen Brechungsindex kleiner als 1 ist, Stauß 595. — Ultrarote Strahlen zur Signalgebung u. Orientirung im Nebel, Rothaas 598. — Brechungszahlen-Messg. am Prisma u. gewisse goniometr. Erfordernisse aus Gründen der Genauigkeit, Tilton 650.
II. Apparate: Einige Beleuchtungseinrichtungen f. das Saitengalvanometer, Köhler 146. — Neues Seismometer mit elektromagnet. Dämpfung u. elektromagnet. sowie opt. Vergrößerung, Wenner 163. — Neuer Mikroprojektionsapparat für Unterricht, Verein u. Haus, Preuß 206. — Einige Notizen zu alten engl. Objektiven, Boegehold 217. — Neuer Trommelaufnahme-Apparat, Beck 219. — Üb. eine Vorrichtg. zur automat. Elektrodennachstellg. beim Unterwasserfunken, Conrad Billroth 268. — Der Wild-Autograph, Berchtold 272. — Zur Theorie des Wild-Autographen, Baeschlin 272. — Die Entwicklg. der photogrammetr. Auswertungsgeräte in Deutschland, Eggert 272. — Verkürztes Skalenfernrohr zur Messung von Winkelausschlägen, Koenigsberger 374. — Üb. farbfreie Kompensatoren für Interferenzrefraktometer, Hansen 460. — Biegsame opt. Geräte, Lamm 579. — Entladungsrohr zur Erzeugg. eines lichtstarken kontinuierl. Spektrums im Ultraviolett, Lau 581. — Üb. einen Quarzspektrographen, Jobin, Yvon 595. — Üb. einen neuen Quarzspektrographen, Kurtz 596. — Plangitterspektroskope m. Wellenlängentrommel, Haschek 597.
III. Literatur: Leitfaden der kolorimetr. Methoden f. d. Chemiker u. den Mediziner, Freund 226. — Geometr. Optik, König 281. — Müller-Pouillets Lehrbuch der Physik 11. Aufl. Bd. 2, 393. — Prakt. Optik, Schrott 441. — Üb. die Entwicklg. der Theorie der opt. Instrumente seit Abbe, Boegehold 604.
Otto, E., Beitrag zur Erhöhung der Genauigkeit thermoelektr. Temperaturmeßanlagen 485.

Peake, E. R. L., The Tavistock Theodolite 212.
Pegel s. Wasserstandsanzeiger.
**Pendel u. Pendelmessungen:** Neues Pendel m. unveränderlicher Schwingungszeit, Schuler 209. —

*Theory and practice of pendulum observations at sea*, Vening Meinesz 339. — Üb. den Einfluß des erdmagnet. Feldes auf die Schwingungszeiten von Nickelstahlpendeln, Rössiger 551. — Üb. eine Abstimmvorrichtg. der Halbsekundenpendel Stückrathscher Form, Rössiger 552. — Die Registrierung von Pendelschwingungen mittels kapazitiver Kontakte, Mahnkopf 706. — Die Registrierung von Pendelschwingungen ohne elektr. Kontakte, Mahnkopf 707. — Die Registrierung der Schwingungen eines Schwerkraftpendels mittels hochfrequenter elektr. Schwingungen u. ihre Rückwirkung auf das Pendel, Schmehl 707.

Pendeluhren s. Zeitmessung.

Perfect, D. S., Anwendg. des Interferometers auf die Winkelmessg. von Prismen 214.

**Persönliches:** Zum 70. Geburtstag von Dr. W. Heraeus, Schriftleitg. 120.

Perucca, E., Elementare Theorie der Elektrometer, insbesondere des Fadenelektrometers 257.

Phillips, W., Üb. eine Methode, kurze Zeitintervalle m. Hilfe eines unmittelbar anzeigenden Instruments zu messen 657.

**Photographie:** Üb. die Tiefenschärfe photograph. Objektive unter besonderer Berücksichtigg. der Mikrophotographie (Vergrößerung), Schneider 164. — Üb. Aufnahmen der Sonne durch Ultraviolettstrahlen u. Fluoreszenslicht, Strebel 166. — Photographien von Reflexions-Kaustiken, Smith, J.C. Anderson, L. C. Cordle 218. — Objektive u. Werkstoffe für Ultraviolett-Photographie, J. W. Gifford 218. — Herstellg. u. Sensitometrie sehr feinkörniger photograph. Platten; Platten für Interferenzen-Photographie, Leroy 274. — Üb. die Prüfg. eines neuen photograph. Verschlusses, Anderson 387. — Üb. die Verwendg. selbsttätiger photograph. Zeitauslöser als Präzisionszeitmeßgeräte, Mathur, Lahiri 658. — Hilfsbuch der astronom. Photographie, Gramatzki 662. — Die Photographie in Wissenschaft u. Praxis Conrady, Davidson 664.

**Photogrammetrie:** Theodolit von Hugershoff-Heyde zur Bestimmung der inneren Orientierung einer Meßkammer, Werkmeister 161. — Doppelkammer von Hugershoff-Heyde für stereophotogrammetrisch auswertbare Aufnahmen, Werkmeister 162. — Nadirtriangulierung, Koppair 226. — Bestimmung der inneren Orientierung der Kammer eines Phototheodolits, Werkmeister 246. — Der Wild-Autograph, Berchtold 272. — Die Entwicklg. der photogrammetr. Auswertungsgeräte in Deutschland, Eggert 272. — Rohrkamera, Beck 334. — Abänderungen u. Ergänzungen an einem Hugershoff-Heydeschen Photogrammeter, Löschner 416. — Üb. die Herstellg. u. Verwendg. von Luftbildplänen, Löschner 653. — Zur Theorie photogrammetr. Auswertegeräte, Gast 653.

**Photometrie:** Ein Satz üb. die Brechung von Lichtstrahlenbündeln. Anwendg. auf die Berechnung der Leuchtdichte, Dargenton 216. — Üb. einige Eigenschaften von Photozellen, Côller 277. — Die lichtelektr. Zelle als Meßinstrument, Sewig 426.

**Physiologie:** Untersuchgn. üb. die Abhängigkeit der Meßgenauigkeit von der künstl. Beleuchtg., Reiter 212. — Abänderung des Wintersteinschen Mikrorespirationsapparates, Bock 322. — Üb. die Dezimalgleichg. beim Ablesen von Skalen, Bäckström 561, 609, 665. — Üb. einen Apparat zur Erzeugg. von tonfrequenten Wechselströmen m. rechteckiger Kurvenform, Keil, Sewig 582. — Relative Sichtbarkeit der Lichtblitze von Neonlampen u. von Glühlampen mit u. ohne Rotfilter, Breckenridge, Nolan 652. — Untersuchungen über Herzgeräusche, Posener, Trendelenburg 708.

Piatti, L., Vorrichtg. zum Schutz der Quecksilberdampflampen m. Wasserstromkühlung 656.

Picht, Johannes, Zur Wellentheorie u. Beugungstheorie opt. Systeme 308. — Die Intensitätsverteilg. in einer Kreiszylinderwelle 475.

van der Pijl, Ch., Dioptr. Untersuchungen 273.

**Planimetrie:** Untersuchg. üb. die Genauigkeit der Scheibenvollplanimeter, Ulbrich 544.

Posener, K., u. F. Trendelenburg, Untersuchungen über Herzgeräusche 708.

**Preislisten:** Neue Preisliste von Gustav Heyde in Dresden 396. — Neue Preisliste Nr. 6 von B. Halle Nachf. 492. — Neue Preisliste der E. Leybolds Nachf. A.-G. 492.

Preuß, J., Neuer Mikroprojektionsapparat für Unterricht, Verein u. Haus 206.

**Prismen:** Die Fehler eines reflektierenden Prismas, Baker 166. — Berechnung der unbekannten Brechungsexponenten des Refraktometerprismas aus den bekannten Brechungsexponenten desselben, Harvonen 185. — Anwendg. des Interferometers auf die Winkelmessung von Prismen, Perfect 214. — Probeprismen zur Prüfung von Refraktometern, Richter 254. — Das Prisma, dessen Brechungsindex kleiner als 1 ist, Stauß 595.

Projektion s. Optik.

**Projektionsapparate:** Neuer Mikroprojektionsapparat für Unterricht, Verein u. Haus, Preuß 206.

Pupin, Michael, Vom Hirten zum Erfinder 284.

Pyrometer s. Thermometrie.

Quadrantelektrometer s. Elektrizität.

**Quarz:** Üb. Eigenschaften einer Stimmgabel aus geschmolzenem Quarz, Harrington 211.

Quarzprismen s. Prismen.

Quecksilberluftpumpen s. Luftpumpen.

Quecksilberniveaus s. Libellen.

**Radioaktivität:** Radioaktive Leuchtfarben, ihre Verwendg. u. Beurteilg., Tempel, Stamm 599. — Üb. den Bau gutisolierender radioakt. Kollektoren für luftelektr. Messungen, Grundmann 695.

Rauschelbach, H., Beschreibg. einer bifilas aufgehängten, an Bord elektr. registrierenden Strommessers 594.

**Rechenapparate u. Rechenhilfsmittel:** Theorie u. Praxis des logarithm. Rechenschiebers, Schrutka 443. — Neue Bauart der Rechenmaschine „Hamann-Automat", Werkmeister 558. — Ermittlg. zusammengehöriger Objekt- u. Bildpunkte vermittels des Kardanproblems, Hoecken 575. — Rechenschieber f. Feuchtigkeitsmessungen, Davidson 593.

Reflektoren s. Astronomie.

**Refraktometer:** Berechnung der unbekannten Brechungsexponenten des Refraktometerprismas aus den bekannten Brechungsexponenten desselben, Karvonen 185. — Probeprismen zur Prüfung von Refraktometern, Richter 254. — Üb. farbfreie Kompensatoren für Interferenzrefraktometer, Hansen 460. — Brechungszahlen-Messg. am Prisma u. gewisse goniometr. Erfordernisse aus Gründen der Genauigkeit, Tilton 650.

**Registrierapparate:** Üb. die Anwendg. der galvanometr. Registriermethode in seism. Gebieten, Wilip 163. — Chronograph hoher Präzision, Lejay 167. — Üb. ein neues elektr. Registriergerät, Matthews 276. — Üb. registrierende Vakuummeter, Hickman 279. — Registriergalvanometer, Bayne-Jones, Foster 390. — Üb. einen neuen Apparat zur Registrierung der Ausschläge von Ein- u. Zweifaden - Elektrometern, Mathias, Hess 484. — Beschreibg. eines bifilar aufgehängten, an Bord elektrisch registrierenden Strommes-

sers, Rauschelbach 594. — Üb. die Theorie der indizierenden Apparate, Kryloff, Bogolinboff 697. — Die Registrierung von Pendelschwingungen mittels kapazitiver Kontakte, Mahnkopf 706. — Die Registrierung von Pendelschwingungen ohne elektr. Kontakte, Mahnkopf 707. — Die Registrierung der Schwingungen eines Schwerkraftpendels mittels hochfrequenter elektr. Schwingungen u. ihre Rückwirkung auf das Pendel, Schmehl 707.

**Reichsanstalt, Physikalisch-Technische:** Vakuummantelflaschen aus Metall für flüssigen Wasserstoff, Meißner, Voigt 121. — Elektr. Nickelofen für metallkundl. Untersuchungen, v. Steinwehr, Schulze 194. — Tätigkeit d. Phys.-Techn. Reichsanstalt i. J. 1929 229, 285, 341.

Reiter, B., Untersuchgn. üb. die Abhängigkeit der Meßgenauigkeit von der künstl. Beleuchtg. 212.

Ribaud, G., Definition der effekt. Wellenlängen von Farbgläsern für Zwecke der opt. Pyrometrie 273.

Richards, T. C., s. Martin.

Richardson, E. G., Üb. zwei Hitzdraht-Viskosimeter 593.

Richter, H., s. Geffken.

Richter, R., Probeprismen zur Prüfg. von Refraktometern 254.

Rohn, W., Bimetall 170.

v. Rohr, M., Zur Geschichte der Zeitschr. f. Instrumentenkunde 1. — Joseph Fraunhofers Leben 118.

v. Rohr, Moritz, s. Thomas H. Court.

**Röntgen-Strahlen:** Verwendg. der Röntgenstrahlen in Chemie u. Technik, Mark 339. — Die Röntgen-Literatur. IX. Teil 1928, Gocht 395.

Rosén, G., Elektromagnetische „Gleichgewichtswaage" 484.

Rössiger, M., Üb. den Einfluß des erdmagnet. Feldes auf die Schwingungszeiten von Nickelstahlpendeln 551. — Üb. eine Abstimmvorrichtg. der Halbsekundenpendel Stückrathscher Form 552.

Rothaas, Ultrarote Strahlen zur Signalgebg. u. Orientierung im Nebel 598.

Savostianoff, M., s. Mourashkinsky.

Schall s. Akustik.

Schardin, H., s. Cranz.

Schichtweiser s. bergmännische Apparate.

Schmalzl, P., Zur Geschichte der Quadranten bei den Arabern 709.

Schmehl, H., Die Registrierung der Schwingungen eines Schwerkraftpendels mittels hochfrequenter elektr. Schwingungen u. ihre Rückwirkg. auf das Pendel 707.

Schmelzunkt s. Wärme.

Schmidt, W., Die Struktur des Windes 649.

Schneider, H., Üb. die Tiefenschärfe photograph. Objektive unter besonderer Berücksichtigg. der Mikrophotographie (Vergrößerung) 164.

Schorr, R., u. F. Dolberg, Die Bergedorfer Plattenmesser f. das Zonenunternehmen der Astronom. Gesellschaft 445.

**Schrauben:** Verbessertes Gewindemeßgerät, Göpel 33. — Üb. die Bestimmung period. Fehler von Meßschrauben, Kohlschütter 370. — Neues Verfahren zur Messg. von Innengewinden, Berndt, Bock 375, 407. — Die deutsch. Gewindetoleranzen, Berndt 492.

Schröter, F., u. W. Ilberg, Vergleich von Selen- u. Photozellen 657.

Schrott, P., Prakt. Optik 441.

Schrutka, L., Theorie u. Praxis des logarithm. Rechenschiebers 443.

Schuler, M., Neues Pendel mit unveränderl. Schwingungszeit 209.

Schulze, A., s. v. Steinwehr.

Schweidler, E., s. Nippoldt.

**Schwere:** *Theory and practice of pendulum observations at sea*, Vening Meinesz 339. — Üb. eine Abstimmvorrichtg. der Halbsekundenpendel Stückrathscher Form, Rössiger 552.

Scrase, F. J., Neue Untersuchgn. der Temperaturkoeffizienten von Stahl ü. Elinvar 336.

**Seismometrie:** Üb. die Anwendg. der galvanometr. Registriermethode in seism. Gebieten, Wilip 163. — Neues Seismometer m. elektromagnet. Dämpfung u. elektromagnet. sowie opt. Vergrößerung, Wenner 163.

Sewig, R., die lichtelektr. Zelle als Meßinstrument 426.

Sewig, R., s. Keil.

Siedethermometer s. Meteorologie u. Thermometrie.

Skirl, W., Wechselstrom-Leistungsmessungen 441.

Smith, B. J., u. L. W. Taylor, Justierbarer Wandarm für Spiegelgalvanometer 391.

Smith, T., Üb. den Durchgang schiefer Bündel durch ein symmetr. Instrument 217. — Reflektierende Systeme für Bildumkehr 217.

Smith, T., John S. Anderson u. L. C. Cordle, Photographien von Reflexions-Kaustiken 218.

Smits, A., u. H. Gerding, Üb. den photoelektr. Effekt des Aluminiums u. seiner Amalgame I 220.

Spannungsmesser s. Elektrizität.

**Spektroskopie:** Die quantitative Spektralanalyse der Elemente, Lundegardh 394. — Entladungsrohr zur Erzeugg. eines lichtstarken kontinuierl. Spektrums im Ultraviolett, Lau 581. — Üb. einen Quarzspektrographen, Jobin, Yvon 595. — Üb. einen neuen Quarzspektrographen, Kurtz 596. — Plangitterspektroskope mit Wellenlängentrommel, Haschek 597. — Vorrichtg. zum Schutz der Quecksilberdampflampen mit Wasserstromkühlung, Piatti 656.

Speter, M., Joseph Blacks „Mikrowaage" mit Reiterversatz 204.

Sphärometer s. Optik u. Maßstäbe.

**Spiegel:** Reflektierende Systeme für Bildumkehr, Smith 217.

Spilsbury, R. S. J., Der Einfluß des Ziehens auf den Temperaturkoeffizienten des elektr. Widerstandes bei Konstantan 655.

Stamm, H., Radioaktive Leuchtfarben, ihre Verwendg. u. Beurteilg. 599.

Stauß, H. E., Das Prisma, dessen Brechungsindex kleiner als 1 ist 595.

v. Steinwehr, H., Üb. die geschichtl. Entwicklg. der elektr. Einheiten 19.

v. Steinwehr, H. u. A. Schulze, Elektr. Nickelofen für metallkundl. Untersuchungen 194.

Strebel, H., Üb. Aufnahmen der Sonne durch Ultraviolettstrahlen u. Fluoreszenslicht 166.

Strohschneider, O., Kurventachymeter 141.

Suits, Channcey Guy, Das selbstgleichrichtende Röhrenvoltmeter 602.

Süss, Ferdinand, Neukonstruktionen 586.

Swanger, W. H., Üb. das Schmelzen u. Bearbeiten des Rhodiums u. einige seiner physikal. Eigenschaften 659.

Tachymeter s. Geodäsie.

Taylor, L. W., s. Smith.

**Technologie:** Verzahnungsfragen, insbesondere das Profil kleinster Reibungsarbeit u. die Invarianz gegen Achsenverschiebung, Bock 99. — Die deutsch. Gewindetoleranzen, Berndt 492.

**Teilungen:** Ermittlg. der Zahnkranzfehler einer automat. Kreisteilmaschine von G. Heyde nebst Bestimmung der Strichfehler eines auf dieser Maschine geteilten Kreises, Ackerl 511.

Tempel, W., Radioaktive Leuchtfarben, ihre Verwendg. u. Beurteilung 599.

Theimer, V., Meridianbestimmung m. d. Sonnenkompaß 477. — Beiträge z. Theorie des Doppelbild-Tachymeters von Bosshardt-Zeiss 493.

Theodolit s. Geodäsie.

Thermoelemente s. Thermometrie.

**Thermometrie:** Bimetall, Rohn 170. — Definition der effektiv. Wellenlängen von Farbgläsern für Zwecke der opt. Pyrometrie, Ribaud 273. — Tellur-Thermoelemente, Lange, Heller 277. — Untersuchungen über Unterkühlungs- u. Veränderungserscheinungen an verschiedenen Thermometerflüssigkeiten, Grundmann 363. — Üb. das Verhalten von Fieberthermometern, Ebert 397. — Beitrag zur Erhöhung der Genauigkeit thermoelektr. Temperaturmeßanlagen, Otto 485. — Einfluß der Thermometeraufstellg. auf die Temperaturaufzeichnungen in Wien, Hohe Warte, Wagner 592.

Thomälen, A., Kurzes Lehrbuch der Elektrotechnik 442.

Tilton, L. W., Brechungszahlen-Messg. am Prisma u. gewisse goniometr. Erfordernisse aus Gründen der Genauigkeit 650.

Tomlinson, G. A., Üb. eine Methode zur Bestimmung des period. Fehlers eines Mechanismus 212.

Trendelenburg, F., s. Posener.

**Triebwerke:** Verzahnungsfragen, insbesondere das Profil kleinster Reibungsarbeit u. die Invarianz gegen Achsenverschiebung, Bock 99.

Uhren s. Zeitmessung.

Uhink, W., s. Breithaupt.

Ulbrich, K., Untersuchg. üb. die Genauigkeit der Scheibenvollplanimeter 544.

Underwood, Newton, Neues Mc Leod-Manometer 280.

**Unterricht:** Ferienkurs in Jena 228.

Vahlen, Th., Deviation u. Kompensation 487.

Vening-Meinesz, F. A., *Theory and practice of pendulum observations at sea* 339.

**Viskosimeter:** Üb. zwei Hitzdraht-Viskosimeter, Richardson 593. — Viskosimeter für kleine Flüssigkeitsmengen nach E. Madelung 647.

Voigt, B., s. Meißner.

de Vries, Thos., Neues Pirani-Vakuummeter 280.

**Waagen u. Wägungen:** Joseph Blacks „Mikrowaage“ mit Reiterversatz, Speter 204.

Wagner, A., Einfluß der Thermometeraufstellg. auf die Temperaturaufzeichnungen in Wien, Hohe Warte 592.

**Wärme** (Thermometrie s. diese): I. Theoretische Untersuchungen u. Meßmethoden: Neue Untersuchungen des Temperaturkoeffizienten von Stahl u. Elinvar, Scrase 336.

II. Apparate: Bimetall, Rohn 170. — Elektr. Nickelofen für metallkundl. Untersuchungen, v. Steinwehr, Schulze 194. — Üb. einen Komparator für Ausdehnungsmessungen fester Körper bis zu 1400° C, Cohn 198. — Üb. einen Thermostaten für $^{1}/_{1000}$ Grad Cels. Temperaturkonstanz, Winton 275. — Wechselbad zur Materialprüfg., Heilbrun 590. — Neuer Apparat zum Messen des Wärmeausdehnungskoeffizienten von Stäben, Zahradníček 600. — Üb. einen Apparat zur Bestimmung der therm. Ausdehnung fester Körper bei hohen Temperaturen, Gerdien, Jubitz 653.

III. Literatur.

**Wasser:** Wasserstrahlgebläse für Laboratorien, Gilbert 391. — Beschreibg. eines bifilar aufgehängten, an Bord elektrisch registrierenden Strommessers, Rauschelbach 594. — Apparat Idrac zur Aufzeichnung der Geschwindigkeit u. Richtg. von Meeresströmungen 703.

Wenner, Frank, Neues Seismometer m. elektromagnet. Dämpfung u. elektromagnet. sowie opt. Vergrößerung 163.

Werkmeister, P., Ein Theodolyt von Hugershoff-Heyde z. Bestimmung d. inneren Orientierung e. Meßkammer 161. — Eine Doppelkammer nach Hugershoff-Heyde f. stereophotogr. auswertbare Aufnahmen 162. — Beitrag zur Bestimmung der Konstanten von Fadenentfernungsmessern 180. — Bestimmung der inneren Orientierung der Kammer eines Phototheodolits 246. — Nivellierinstr. v. Otto Fennel Söhne m. Einstellg. d. Libelle i. Gesichtsfeld d. Fernrohres 554. — D. Präzisions-Nivellierinstr. v. H. Wild 556.

Werner, A., Neuer Hochseepegel 332.

Wilip, J., Üb die Anwendg. der galvanometr. Registriermethode in seism. Gebieten 163.

Wilski, P., Die Lagrangesche Formel f. die Vergrößerung beim Zeiss-Wild-Fernrohr 321. — Lehrbuch der Markscheidekunde 438.

Winton, F. R., Üb. einen Thermostaten für $^{1}/_{1000}$ Grad Celsius. Temperaturkonstanz 275.

Wulf, Th., Ein neues Hochspannungselektrometer 655.

Yvon, s. Jobin.

**Zählwerke:** Üb. einen Impulszähler u. seine Anwendung, Klopsteg 487.

Zahradníček, J., Üb. zwei Apparate nach B. Macku 600.

Zeiss, Carl, Über die Entwicklung der astronom. Instrumente im Zeisswerke Jena, Meyer 58.

**Zeitmessung:** Verzahnungsfragen, insbesondere das Profil kleinster Reibungsarbeit u. die Invarianz gegen Achsenverschiebung, Bock 99. — Rieflеruhr m. Schwerkrafthemmung, Bock 109. — Einführung des Begriffes „Halbschwingung“ bei Zeitmessern 120. — Chronograph hoher Präzision, Lejay 167. — Neues Pendel mit unveränderl. Schwingungszeit, Schuler 209. — Zuschriftl. Bezeichnung des Standes u. des Ganges einer Uhr 227. — Üb. die Prüfg. eines neuen photograph. Verschlusses, Anderson 387. — Üb. den Einfluß des erdmagnet. Feldes auf die Schwingungszeiten von Nickelstahlpendeln, Rössiger 551. — Neue Möglichkeiten des Präzisionsuhrenbaues, Geffken, Richter 559. — Üb. eine Methode kurze Zeitintervalle m. Hilfe eines unmittelbar anzeigenden Instruments zu messen, Phillips 657. — Üb. die Verwendg. selbsttätiger photograph. Zeitauslöser als Präzisionszeitmeßgeräte, Mathur, Lahiri 658. — Einheitl. Bezeichnungen für techn. Zeitmeßinstrumente 658. — Die Registrierung von Pendelschwingungen mittels kapazitiver Kontakte, Mahnkopf 706. — Die Registrierung von Pendelschwingungen ohne elektr. Kontakte, Mahnkopf 707. — Die Registrierung der Schwingungen eines Schwerkraftpendels mittels hochfrequenter elektr. Schwingungen u. ohne Rückwirkung auf das Pendel, Schmehl 707.

## Verzeichnis der Berichterstatter des Jahrgangs 1930.

| Name | Wohnort |
|---|---|
| Dr. J. Arns | Köln |
| Dr.-Ing. J. Baltzer (J. B.) | Berlin |
| Dr. P. Duckert | Berlin-Lindenberg |
| Dr.-Ing. Fr. Dubois | Schaffhausen |
| Reg.-Rat W. Dziobek | Charlottenburg |
| Dr. Viktor Engelhardt | Berlin |
| Dr. Flügge | Rathenow |
| Prof. Dr. J. Frank | Weihenstephan |
| Dr. Goens | Charlottenburg |
| Prof. Dr. F. Göpel (G.) | Charlottenburg |
| Ob.-Ing. K. Hoecken | Berlin |
| Prof. Dr. Hornoch | Sopron (Ungarn) |
| Dr. W. Keil | Charlottenburg |
| Prof. Dr. P. Knipping | Darmstadt |
| Dipl.-Ing. G. Korfanty | Berlin |
| Dr. G. v. Kujawa | Berlin |
| Dr. Lampe | Charlottenburg |
| Dr. Linckh (Lh) | Charlottenburg |
| Dr. Löwe | Jena |
| Dr. B. Messow † | Bergedorf-Hamburg |
| Dr. Pfestorf | Charlottenburg |
| Prof. Dr. Dr. h. c. M. v. Rohr | Jena |
| Dr. Sewig | Berlin |
| Dipl.-Ing. C. Stoerk | Berlin |
| Doz. V. Theimer (V. Th.) | Leoben |
| Ober-Insp. G. Thiel | Seewarte Hamburg |
| Prof. Dr.-Ing. P. Werkmeister (P. W.) | Dresden |
| Dr. A. Werner (Wr.) | Charlottenburg |
| Dr. Zickner | Charlottenburg |

Verantwortlich für die Redaktion: Oberregierungsrat Professor Dr. F. Göpel in Charlottenburg.
Verlag von Julius Springer in Berlin. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

521.05 508.05
ZE ZE

# ZEITSCHRIFT
FÜR
# INSTRUMENTENKUNDE

## Organ
für
### Mitteilungen aus dem gesamten Gebiete der wissenschaftlichen Technik

THE LIBRARY OF THE
JAN 30 1931
UNIVERSITY OF ILLINOIS

Herausgegeben
unter Mitwirkung der
**Physikalisch-Technischen Reichsanstalt**
von
**W. Breithaupt** in Cassel, **M. Edelmann** in München, **P. Guthnick** in Neubabelsberg, **O. Günther** in Braunschweig, **W. Haensch** in Berlin, **K. Haußmann** in Schwäb.-Gmünd, **C. Hensoldt** in Wetzlar, **W. Hildebrand** in Freiberg i. S., **E. Kohlschütter** in Potsdam, **A. Köhler** in Jena, **F. Löwe** in Jena, **H. Ludendorff** in Potsdam, **H. Maurer** in Berlin, **W. Nernst** in Berlin, **M. v. Rohr** in Jena, **W. Sartorius** in Göttingen, **A. Schmidt** in Cöln a. Rh., **R. Straubel** in Jena, **E. Warburg** in Berlin, **F. Weidert** in Berlin, **P. Werkmeister** in Dresden.

Schriftleitung: **F. Göpel** in Charlottenburg

Fünfzigster Jahrgang

**1930**

**12. Heft: Dezember**

**Inhalt:**

H. Bäckström, Über die Dezimalgleichung beim Ablesen von Skalen (Schluß von S. 624) S. 665. — G. Berndt, Die Bestimmung der elastischen Konstanten (Schluß von S. 638) S. 679. — K. Lüdemann, Eine Wald- (Berg-) Bussole mit Doppelbild-Entfernungsmesser S. 693. — W. Grundmann, Über den Bau gutisolierender radioaktiver Kollektoren für luftelektrische Messungen S. 695.

Berichte: Über die Theorie der indizierenden Apparate S. 697. — Komparator neuer Bauart S. 702. — Apparat Idrac zur Aufzeichnung der Geschwindigkeit und Richtung von Meeresströmungen S. 703. — Optische Neuerungen auf der Achema S. 705. — Registrierung von Pendelschwingungen mittels kapazitiver Kontakte S. 706. — Registrierung von Pendelschwingungen ohne elektrische Kontakte S. 707. — Registrierung der Schwingungen eines Schwerkraftpendels mittels hochfrequenter elektrischer Schwingungen S. 707. — Eine elektrische Meßdose S. 708. — Schnittdruckmessungen an der Drehbank S. 708. — Untersuchungen über Herzgeräusche S. 708. — Druckmessungen an Walzenlagern S. 709.

Bücherbesprechungen: P. Schmalzl, Zur Geschichte des Quadranten bei den Arabern S. 709.

Namen- und Sachregister S. 713.

Verzeichnis der Berichterstatter des Jahrgangs 1930 S. 722.

Berlin
Verlag von Julius Springer
1930

*Der Postvertrieb erfolgt von Leipzig aus*

Die **Zeitschrift für Instrumentenkunde**

erscheint in monatlichen Heften und kann im In- und Auslande durch den Buchhandel, die Post oder die Versandstelle des Verlages, die Hirschwaldsche Buchhandlung, Berlin NW 7, Unter den Linden 68 (Fernsprecher: Zentrum 2825, 2826, 2835, 2836. Drahtanschrift: Hirschwaldbuch) bezogen werden. Preis vierteljährlich für das In- und Ausland RM 14.—. Hierzu tritt bei direkter Zustellung unter Streifband das Porto bzw. beim Bezuge durch die Post die postalische Bestellgebühr. Heftpreis RM 5.90.

**Redaktionelle** Anfragen und Mitteilungen wolle man an den Schriftleiter, Oberregierungsrat i. R. Prof. Dr. F. Göpel, Berlin-Charlottenburg 2, Knesebeck-Straße 22 Fernsprecher C 1 Steinplatz 6734), richten.

Wissenschaftliche Original-Beiträge werden honoriert.

Autoren, deren Arbeiten in anderen Zeitschriften des In- und Auslandes erscheinen und für die Leser der Zeitschrift für Instrumentenkunde von Interesse sind, werden um Einsendung eines Sonderabzuges gebeten, um darüber im Referate-Teil berichten zu können.

**Verlagsbuchhandlung Julius Springer in Berlin W 9,** Linkstr. 23/24

Fernsprecher: Sammel-Nrn. Kurfürst 6050 und 6326.
Drahtanschrift: Springerbuch, Berlin.

Bank- und Postscheckkonten:

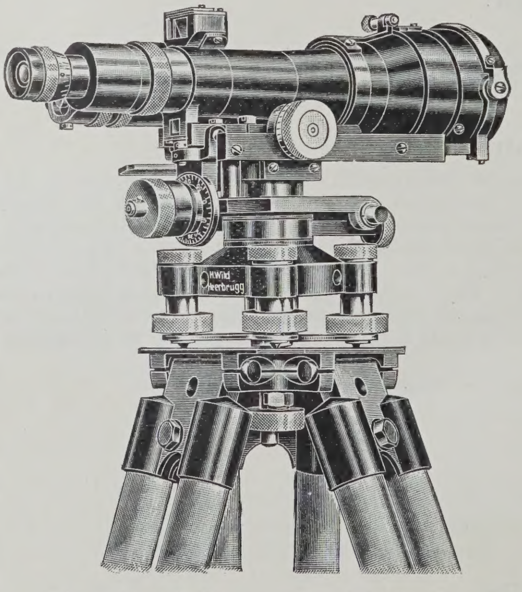
für Anzeigen, Beilagen, Sonderdrucke: Reichsbank-Girokonto, Deutsche Bank und Disconto-Gesellschaft, Depositenkasse C, Berlin W 9, Postscheckkonto Berlin Nr. 118 935 Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9.

für Bezug von Büchern, Zeitschriften und einzelnen Heften: Hirschwaldsche Buchhandlung, Berlin NW 7. Postscheckkonto Berlin Nr. 33 700. Deutsche Bank und Disconto-Gesellschaft, Depositenkasse Berlin W 8, Unter den Linden 11.

**HILDEBRAND**
**Präzisions-Instrumente**
für alle Zweige des Vermessungswesens
H W F
Gegründet 1791
**MAX HILDEBRAND** früher August Lingke & Co. G. m. b. H.
FREIBERG-SACHSEN 50
k

**WILD**

**Neukonstruktion.**



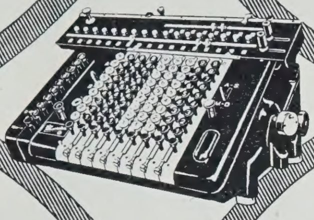

1/4 natürl. Größe — Gewicht 3,5 kg
Vergrößerung 36fach

Präzisions-
Nivellier-
Instrument
mit Keilstrich-Einstellung.

*Verlangen Sie ausführliche Beschreibung*

Vertreter für Deutschland:
**Gebr. Wichmann m. b. H.**
Karlstraße 13/14
**BERLIN NW 6**

Für alle Mitarbeiter eine Wohltat



die neue elektrische Rheinmetall

RHEINISCHE METALLWAAREN- u. MASCHINENFABRIK
SÖMMERDA A.-G SÖMMERDA BEI ERFURT

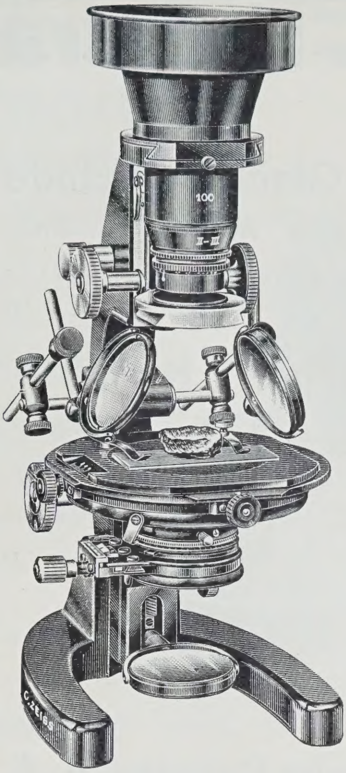
Verlangen Sie Sonderkatalog über

Amsler

Planimeter
Integratoren
Kurvenmesser
Hydrometrische Flügel
Registrierende Pegel
(Limnigraphen)
Fernschreibpegel
Integrierende Pegel

Alfred J. Amsler & Co.,
Schaffhausen (Schweiz)

Gegr. 1854



**Stativ SCF** mit mikrophotographischem Kreuztisch, Trichter III-T zur lichtdichten Verbindung von Kamera und Mikroskop, am Stativ anklemmbaren Spiegel und Mattscheibe für Aufnahmen von Oberflächenbildern schwach vergrößerter Objekte. Das Stativ trägt den vollständigen ABBEschen Beleuchtungsapparat, ist also auch für Aufnahmen im durchfallenden Licht voll brauchbar.

**ZEISS**
**Mikroskope**
speziell für mikrophotographische Zwecke

**Mikrophotographische Apparate**
für alle Zwecke, auch für Metallographie

**Druckschriften kostenfrei**

CARL ZEISS JENA

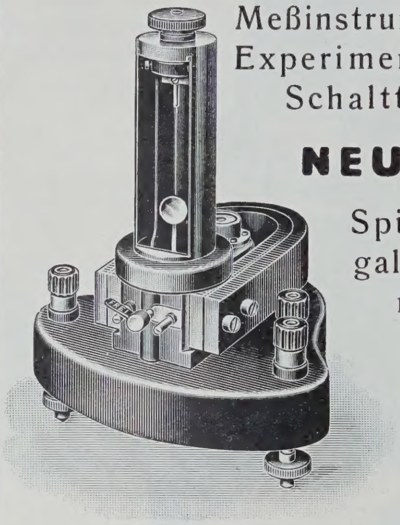
**CARL ZEISS, JENA**
**Berlin W 9,** Potsdamer Straße 139, III. **Hamburg,** Alsterdamm 12/13. **Köln,** Apostelnkloster 27. **Wien IX/3,** Ferstelgasse 1.
Generalvertreter in allen Ländern.

**Original-Ruhstrat**

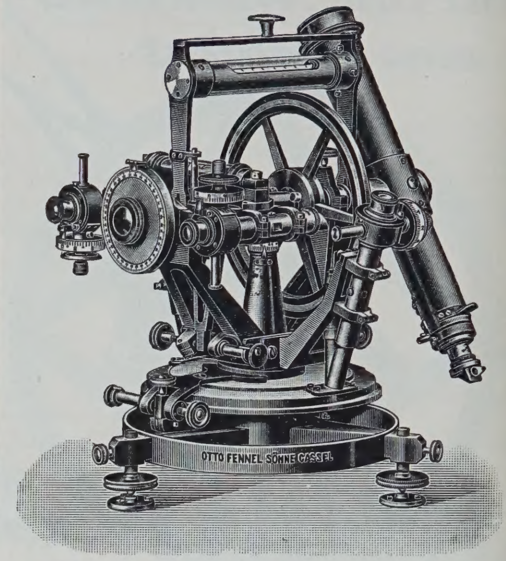
Gleitwiderstände
Meßinstrumente
Experimentier-
Schalttafeln

**NEU!**

Spiegel-
galvano-
meter



**Gebr. Ruhstrat A.-G.**
Göttingen 5

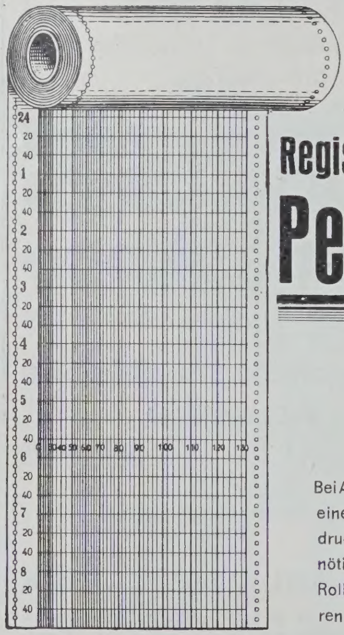



**Theodolite / Tachymeter**
**Nivellier-Instrumente**

OTTO FENNEL SÖHNE
CASSEL 3
Gegründet 1851

**Kritische Käufer**

verlangen nur unsere

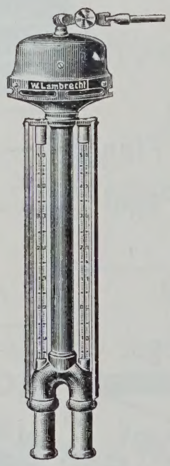


**Registrierrollen**
**Perfekt**

Bei Anfragen bitten wir um eine Vorlage für den Aufdruck, Angabe der benötigt. Menge, Länge der Rollen sowie des inneren Loch-Durchmessers

**Carl Schleicher & Schüll**
Düren, Rheinland

**Aspirations-Psychrometer**
nach Assmann




*Druckschrift 817 gibt Aufschluß*

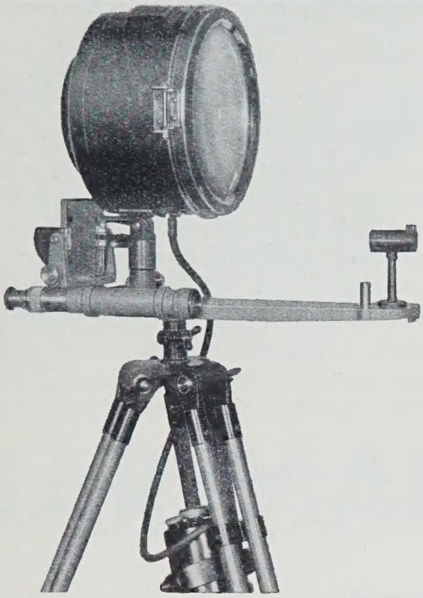
**Wilh. Lambrecht A. G.**
GÖTTINGEN

Werkstätten für geodätische Instrumente und Feinmechanik

**Eduard Ponocny**

**Wien IV., Prinz-Eugen-Straße 56**

Gegründet 1897 Fernruf: U 44-3-23



Heliotrop für Tag- und Nachtbeobachtungen

Eigene Erzeugung:

Theodolite / Tachymeter

Nivellierinstrumente

Auftragsapparate

und Meßgeräte aller Art

Generalvertretung für Österreich der

**A. G. Heinrich Wild, Heerbrugg**

**(Schweiz)**

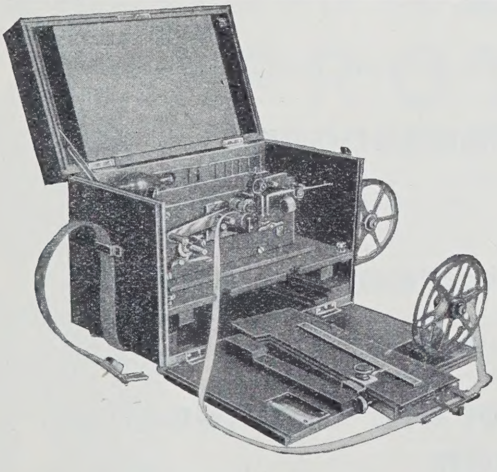
**Geodätische terrestrische u. aerophotogrammetrische Instrumente und Geräte**

**FAVAG**

**FABRIK ELEKTRISCHER APPARATE A.G.**

**Frühere Firmen: HIPP, gegr. 1860; PEYER, FAVARGER & CIE; FAVARGER & CIE**

**NEUENBURG (SCHWEIZ)**



Tragbarer Chronograph mit eingebautem Ableseapparat nach Oppolzer

Band-Chronographen, Chronoskope in den verschiedensten Ausführungen u. Genauigkeiten

FAVAG

FAVAG

GENERAL-VERTRIEB: *Hans Treu Industrie-Vertretungen Berlin S 14, Annenstrasse 2*

# Verwertung magnetischer Messungen zur Mutung

## für Geologen und Bergingenieure

von Professor Dr. **Alfred Nippoldt**
Leiter des Magnet. Observatoriums Potsdam-Niemegk

Mit 19 Abbildungen im Text und 36 Tafeln
V, 74 Seiten. 1930. Gebunden RM 16.50

Die Methode, nach der dieses Werk arbeitet, ist neu. Das Verfahren, magnetische Mutungsmessungen zu deuten, hat der Verfasser — eine Autorität auf dem Gebiete der magnetischen Erdmessungen und Mutungserfahrungen — erstmalig in seiner kürzlich erschienenen „Einführung in die Geophysik", Bd. II, beschrieben. Das vorliegende Buch befaßt sich mit der Technik, aus magnetischen Messungen zu muten. Anleitungen zu magnetischen Beobachtungen gibt es in zahlreichen Werken über geophysikalische Aufschlußverfahren, dagegen wird über die Kunst der Verwertung der Messungen zu wirklichen Deutungen meist geschwiegen — weil dies das Geschäftsgeheimnis der Mutungsfirmen ausmacht.

Das Buch, dessen Hauptinhalt in den Tabellen und Kurven der typischen Einzelfälle besteht, füllt diese in der Literatur bestehende Lücke aus. Es legt in Form einer rein technischen Anleitung für den Praktiker die Grundlinien eines neuen Verfahrens fest, wobei es sich auf eine reiche Erfahrung des Verfassers stützt.

*Inhaltsverzeichnis:* Einleitung. Der Einzelpol. Polfolgen. Der Magnet. Die magnetische Platte. Anwendung der Methode. Der topographische Effekt. Elimination des Normalfeldes. Namen- und Sachverzeichnis. Tabelle I und II sowie Tafeln I bis XXXVI in der Tasche am Schluß des Buches.

---

# Einführung in die Geophysik

Erster Band: **Anwendung der Methoden der Erdmessung auf geophysische Probleme. Erdbebenwellen. Die endogendynamischen Vorgänge der Erde.** Von Prof. Dr. **A. Prey,** Prag, Prof. Dr. **C. Mainka,** Göttingen, und Prof. Dr. **E. Tams,** Hamburg. Mit 82 Textabbildungen. VIII, 340 Seiten. 1922. RM 12.—

Zweiter Band: **Erdmagnetismus und Polarlicht. Wärme- und Temperaturverhältnisse der obersten Bodenschichten. Luftelektrizität.** Von Prof. Dr. **A. Nippoldt,** Potsdam, Dr. **J. Keränen,** Helsinki, und Prof. Dr. **E. Schweidler,** Wien. Mit 130 Textabbildungen. IX, 388 Seiten. 1929. RM 33.—; gebunden RM 35.—

Dritter Band: **Dynamische Ozeanographie.** Von Prof. Dr. **A. Defant,** Direktor des Instituts und Museums für Meereskunde, Berlin. Mit 87 Textabbildungen. X, 222 Seiten. 1929. RM 18.—; gebunden RM 19.80

*(Naturwissenschaftliche Monographien und Lehrbücher, Band IV, VIII und IX)*

---

# Erdmagnetische Messungen

Von Prof. Dr. **G. Angenheister,** Potsdam. (Enthalten in „Handbuch der Physik", Band XVI. Mit 623 Abbildungen. IX, 801 Seiten. 1927.) Preis des Bandes RM 66.—; gebunden RM 68.40

---

# Isostasie und Schweremessung

Ihre Bedeutung für geologische Vorgänge. Von Dr. **A. Born,** a. o. Professor der Geologie an der Universität Frankfurt a. M. Mit 31 Abbildungen. III, 160 Seiten. 1923. RM 9.—

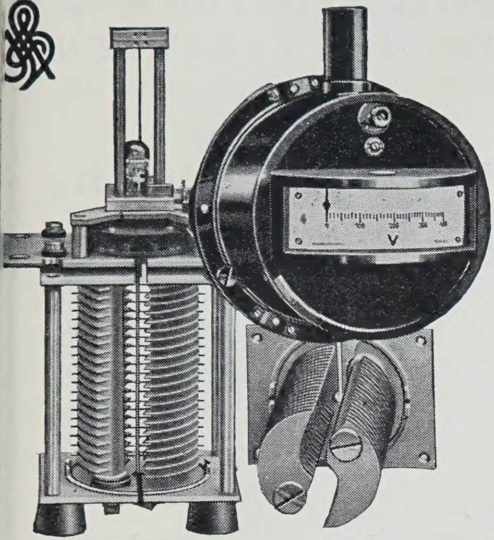
---

# Grundlagen und Geräte technischer Längenmessungen

Von Professor Dr. **G. Berndt,** Dresden. Mit einem Anhang von Privatdozent Dr. **H. Schulz,** Berlin. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 581 Textabbildungen. XII, 374 Seiten. 1929. Gebunden RM 43.50

---

VERLAG VON JULIUS SPRINGER / BERLIN

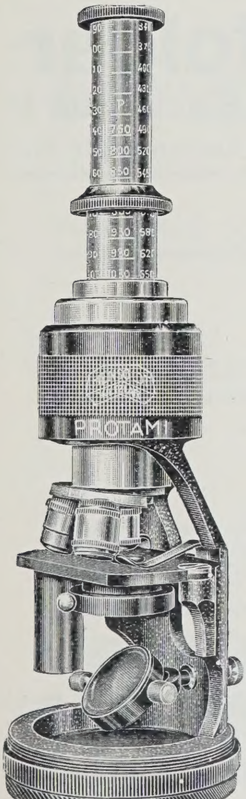




# H&B
## Elektrostatische Voltmeter

H&B Multizellular-Voltmeter sind die einzigen elektrostatischen Geräte, die zum Messen niedriger Wechselspannungen geeignet sind. Sie arbeiten mit sehr geringem Eigenverbrauch. Die Hochfrequenz-Technik bevorzugt diese Voltmeter, weil sie frequenzunabhängig sind. In Verbindung mit Spannungsteilern sind statische Voltmeter auch für Hochspannungsmessungen bis 1 Million Volt zu verwenden. Jahrzehntelange Erfahrung im Bau dieser Geräte geben Gewähr für höchste Vollendung in Ausführung und Form.

**HARTMANN & BRAUN AG**
**FRANKFURT/MAIN**



Das neue *Hensoldt* Mikroskop

## PROTAMI D. R. P.

ermöglicht schnelle und exakte Untersuchungen

**PROTAMI** ist stets arbeitsbereit und leicht zu handhaben. Der unbequeme Okularwechsel ist vermieden, die Vergrößerung jederzeit ablesbar.

**PROTAMI** beansprucht nur wenig Platz im Laboratorium und ist durch eine stabile Kappe gegen Beschädigungen geschützt.

**PROTAMI** wiegt nur 1100 g und besitzt die Größe von 7 × 17 cm, ist daher als Reisemikroskop unübertroffen.

**PROTAMI** ist mit Öl-Immersion und Kugellagerfeineinstellung (D. R. P.) ausgerüstet und besitzt alle Vergrößerungen von **40—1200 × (1450 ×).**

**Preis: RM 250.— (260.—) komplett.**

Liste Klm. Z. 5 kostenlos!

**M. HENSOLDT & SÖHNE, Optische Werke A. G. WETZLAR**

# Franz Schmidt & Haensch · Berlin S 42

OPTISCH-MECHANISCHE WERKSTÄTTEN

Prinzessinnenstr. 16 Gegründet 1864

**Unimeter nach Bloch,**

ein Meßgerät zur Messung der Durchlässigkeit und Durchsichtigkeit, Schwärzung und Trübung, Rückstrahlung und Farbe, Lichtstärke und Beleuchtungsstärke, Leuchtdichte und Fluoreszenz.

**Polarisations-, Spektral-**
und
**Photometrische Apparate**

Unimeter nach Bloch

Kataloge kostenlos!

# E. Leybold's Nachfolger A.-G.

Köln-Bayental
Bonner Straße 500

Berlin NW 6
Luisenstraße 31 a

**NEUHEIT**

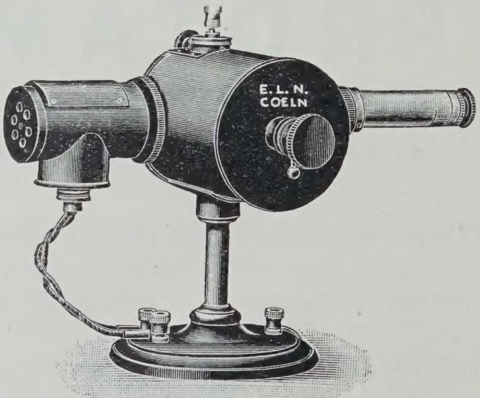


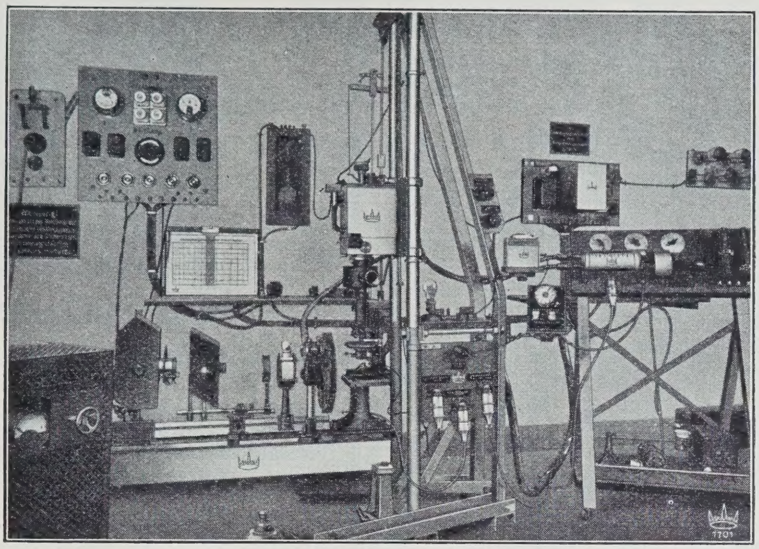

Abbildung $^1/_5$ natürlicher Größe

**Hochspannungselektrometer nach Th. Wulf (D.R.P.)**

**bis 15000 und bis 50000 Volt**

Physikalische Zeitschrift 1930, Heft 7, S. 315–323

**Sonderprospekt auf Wunsch!**



# Für wissenschaftliche Untersuchungen

von Entwicklungs- und Zerstörungsvorgängen in der Chemie, Metallurgie, Bakteriologie, Botanik und auf ähnlichen Gebieten ist die Kinematographie ein wichtiges, unentbehrliches Hilfsmittel geworden. Da die Bewegungsänderungen meist sehr langsam erfolgen, wird eine aneinandergereihte Wiedergabe zeitlich getrennt aufgenommener Einzelbilder erforderlich, um die fortschreitende Wandlung zu erkennen. Wir haben für diesen Zweck zu unseren Aufnahmegeräten folgende Sondereinrichtungen entwickelt:

**Askania-Mikroraffer** für selbsttätige Aufnahmen in 8 verschiedenen Zeitabständen, beliebig einstellbar auf $^1/_{16}$, $^1/_7$, $^1/_3$, 1, 2, 5, 12 und 28 Sek. je Einzelbild. Ist eine noch größere Verzögerung erforderlich oder erwünscht, so findet der

**Askania-Zeitraffer** Anwendung. Mit diesem lassen sich, ebenfalls selbsttätig, Aufnahmen in 15 verschiedenen Zeitstufen erreichen, und zwar 20, 30, 40 Sek., 1, 2, 5, 10, 15, 20, 30, 40 Min., 1, 2, 5, 10 Std. Als Aufnahmeapparat dient unsere bekannte

**Askania-Kinokamera,** die unabhängig vom Zeitraffer oder Mikroraffer für alle Arten von Normal- und auch für gelegentliche Hochfrequenzaufnahmen verwendbar ist. Über alle weiteren Einzelheiten geben wir gern Aufklärung.

*Wir bitten,*
*unsere Beschreibung Kino 11580 zu fordern.*

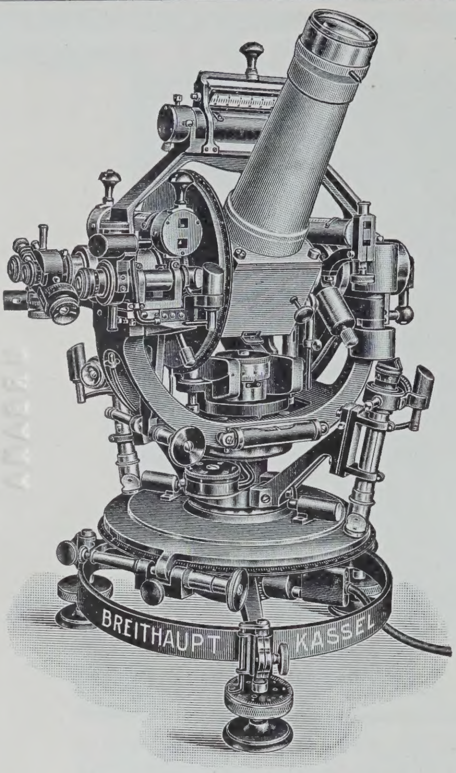
ASKANIA

**ASKANIA-WERKE A.G.**

**BAMBERGWERK**

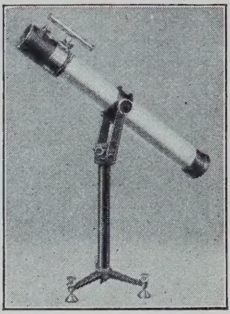
**BERLIN-FRIEDENAU**

KAISERALLEE 87/88




**F. W. Breithaupt & Sohn, Kassel**
Geodätische u. astronomische Instrumente





**Vierzöllige Spiegelteleskope**
**für Universitäten und Schulen**

**Hochlichtstarke Optik**

**für wissenschaftliche Zwecke**
Öffnung bis 1:1,25
**Asphärische Kondensoren**
**Projektionsobjektive für Diaskopie und Episkopie**

**Astro-Gesellschaft m.b.H.**
**Berlin-Neukölln, Lahnstraße 30c**
Telegr.-Adr.: **Astrooptik Berlin**

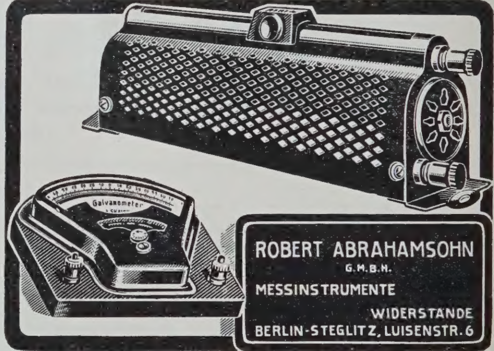


**Präzisions-Mechaniker**

für Südamerika gesucht, welche in allen Reparaturen und Justierarbeiten von geodätischen und topographischen Instrumenten vertraut sind.

Offerten unter **J. S. 22994** befördert **Rudolf Mosse,** Berlin SW 100. [6450]



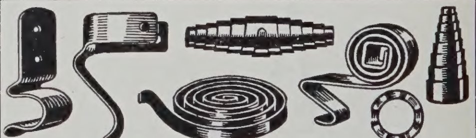





**1 Kolorimeter**

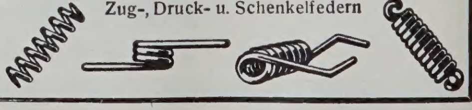
Marke LEITZ, WETZLAR, 100 mm Schichtenhöhe, ganz wenig gebraucht, tadellos erhalten, preiswert zu verkaufen.
Zu erfragen unter **I. K. 6449** durch die Expedition dieser Zeitschrift.





Flachfedern für techn. und chirurgische Zwecke, ausgestanzte Massenartikel nach Original-Mustern u. Zeichnungen

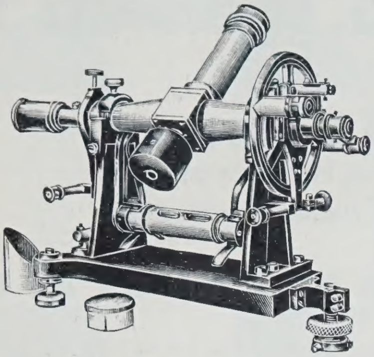
**HUGO BAUER**
Federn - Fabrik
**SOLINGEN - WALD**
Zug-, Druck- u. Schenkelfedern





**Vorzüglich beschriftet sind Ihre Zeichnungen**

Pläne, Tabellen bei Verwendung der **Schriftschablonen Bahr's Normograph**
Preisliste kostenfrei!
**Filler-Fiebig, Berlin SW 68**



**Astronomische Instrumente**

**Vermessungs-Instrumente und -Geräte,**
wie Theodolite, einfache Winkelmesser, Nivellier-Instrumente, Nivellier-Latten, Messbänder u. a.

Spezialität: Kleine Reisetheodolite, auch solche für astronomische Zwecke und vielseitige Schultheodolite

Ausführliche Kataloge kostenfrei

**Georg Butenschön**

**Bahrenfeld bei Hamburg**

Gegründet 1886

Städtische vom Staat unterstützte

**Fachschule für Feinmechanik**

zu Göttingen

Umfassende praktische und theoretische Ausbildung auf allen Gebieten der Feinmechanik. Vier aufsteigende Jahresklassen. Lehrwerkstätten. Vorbereitung für die Gehilfenprüfung. Praktische und theoretische Fortbildung von Gehilfen. Beginn des Schuljahres am 1. April. Anmeldungen beim Unterzeichneten. Merkblatt und Auskunft durch denselben.

Der Direktor: **KLEMM**

**Voigt & Hochgesang**
Inh.: A. Rümenapf
**GÖTTINGEN**
Optisch-mechanische Werkstätte

**Anfertigung von Dünnschliffen**
von eingesandtem sowie von eigenem Material
**Dünnschliffsammlungen von Gesteinen und Minerialien**
**Schneide- u. Schleifmaschinen**
für die Herstellung von Dünnschliffen

Wir machen gleichzeitig aufmerksam auf die demnächst neu erscheinende
**Sammlung von Dünnschliffen fossiler Coniferen-Hölzer,** zusammengestellt von Herrn Professor Dr. W. Gothan, Berlin

**Das ultrarote Spektrum**

von

Dr. **Clemens Schaefer**
o. ö. Professor der Physik an der Universität Breslau

und

Dr. **Frank Matossi**
Assistent am Physikalischen Institut der Universität Breslau

*(Band X der Sammlung „Struktur der Materie in Einzeldarstellungen")*

Mit 161 Abbildungen. VI, 400 Seiten. 1930
RM 28.—; gebunden RM 29.80

VERLAG VON JULIUS SPRINGER / BERLIN

**Schmiermittel**
**für die Feinmechanik**

Lieferung von jedem Verwendungszweck genau angepaßten Sonderqualitäten

*

50jährige Spezialerfahrung in der Herstellung von Uhrenölen

*

Kostenlose fachmännische Beratung in allen schmiertechnischen Fragen

**W. Cuypers & Stalling G. m. b. H.**
**DRESDEN N. 6**

**Maßstäbe** auf Glas u. jed. anderem Material in größter Präzision

Okularmikrometer, Objektmikrometer, Stufenmikrometer, Beugungsgitter, Strichplatten für Fernrohre, Fadenkreuze, Distanzkreuze

über 20 jähr. Erfahrung in der Herstellung von Spezialteilungen nach jed. Angabe.

**Albert Sass** Berlin N 24
Tel: D 2 Weidendamm 7836, 7837 Oranienburg. Str. 65

**Registrier-Rollen**

**STREIFEN** **SCHEIBEN**
**FÜR ALLE MESS-INSTRUMENTE**

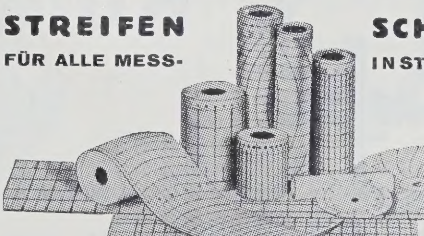
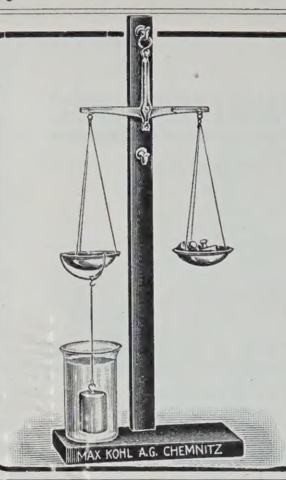


**DIAGRAMM-HALBACH** **DORTMUND-HÖRDE**




**Max Kohl A.G. Chemnitz 5**

Gegründet 1876

**Schülerübungen**

nach Dr. Hahn und Koch, Hamburg und nach
Prof. Herm. Hahn, Geh. Regierungsrat, Berlin

**Physikalische Apparate**

Sonderlisten und Voranschläge bereitwilligst

**OTT**

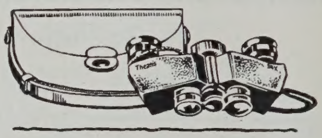
MATHEMATISCHE
UND HYDROMETRISCHE
INSTRUMENTE

Abteilung I
Hydrometrische Flügel
Chronographen
Registrier-Pegel

Abteilung II
Harmonische Analysatoren
Präzisions-Pantographen
Planimeter aller Art

*Der neue Katalog ist erschienen*

**A. OTT** KEMPTEN (ALLGÄU)



Für Theater und Sport!

**THEATIS 3½ x 15**
**THEATOUR 5 x 15**

Die beliebten Prismengläser
im Westentaschen-Format
Zierlich! -- Hochwertig! -- Elegant!

**J. D. MOELLER G. m. b. H.**
WEDEL in Holstein, gegr. 1864

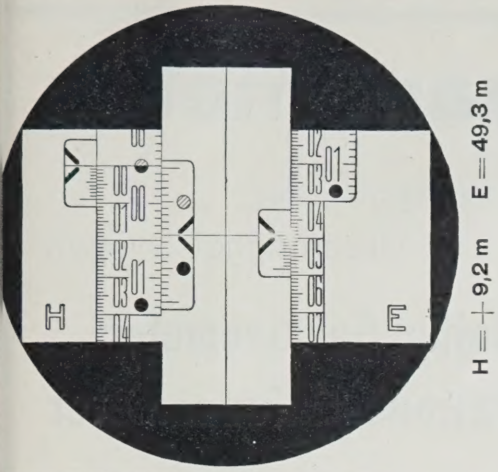
**Kondensatoren**

für die Meßtechnik

Normalien

Dekaden-Kurbel-Kondensatoren

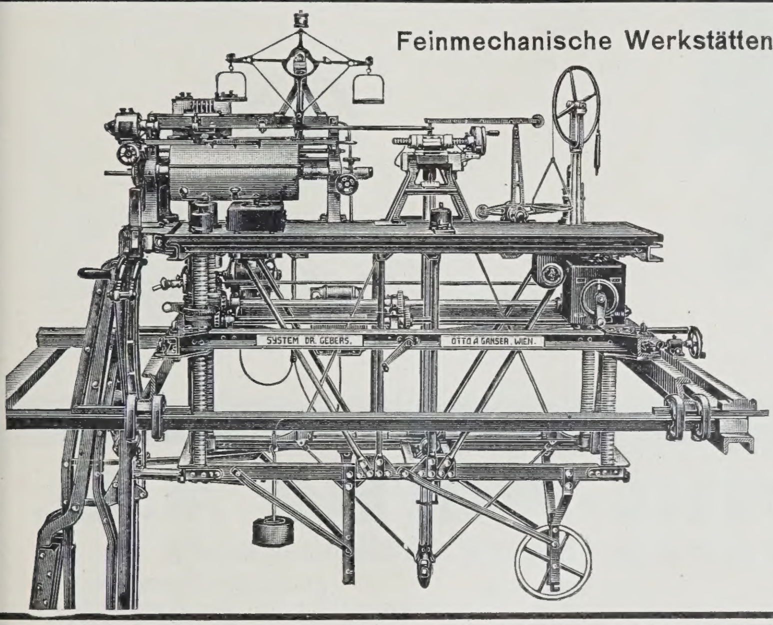
**RICHARD JAHRE, Spezialfabrik für Kondensatoren**
**Berlin SO 16, Köpenicker Straße 30a**




Das Bild im Gesichtsfeld des neuen Hugershoffschen Dreibild-Tachymeters. An einer Vertikallatte können — nach Wunsch mit oder ohne Nonius — Höhe und Entfernung direkt ohne jede Rechnung abgelesen werden.

Erfragen Sie Näheres bei

**Gustav Heyde G. m. b. H.**
**Dresden-N. 23**




Feinmechanische Werkstätten **Otto A. Ganser**

**WIEN VII**

Schottenfeldgasse 93

**Instrumente für Schiffbautechnik und Wasserbau,**
**Hydrometrische Flügel,**
**Wasserstands-registrierapparate** mit und ohne Schwimmer,
**Fernmelder,**
**Ombrographen,**
**Sondiertachygraph,**
**Planimeter,**
**Neukonstruktionen.**

Katalog auf Verlangen

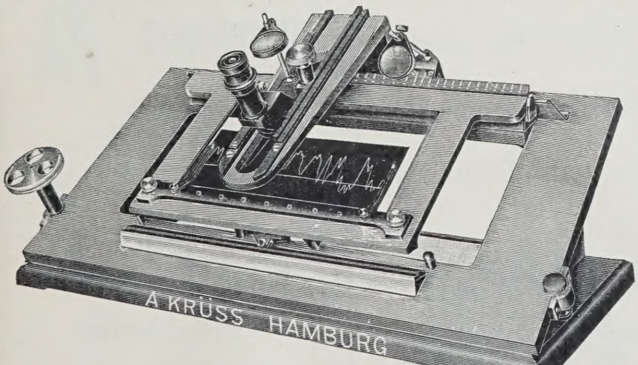
NEU!

# KRÜSS Koordinaten-Meßapparat

nach **Goos**

zum schnellen Auswerten von Registrierkurven

Größte meßbare Plattenlänge 24 cm
Plattenbild aufrecht und seitenrichtig



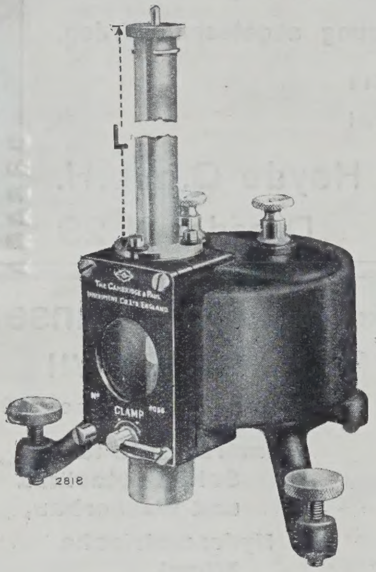

Photometer
Mikrophotometer
Spektroskope
Spektrographen
Kolorimeter

**A. KRÜSS / HAMBURG 39**
Optisch-mechanische Werkstätten
Inh.: **Dr. Paul Krüss** Gegr. 1796

# Spiegel-Galvanometer

mit Drehspul- oder
Drehmagnet-System

**Saiten-Galvanometer**
**Vibrations-Galvanometer**



Generalvertrieb:

Dipl.-Ing. D. Bercovitz & Sohn
BERLIN-SCHÖNEBERG

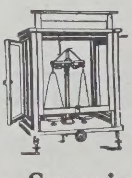
# Sartorius-Werke A. G.

## Göttingen (Prov. Hannover)

**Telefonruf 2129** **Gegr. 1870** **Telegr.-Adr.: Sartoriuswerke**

Abt. I

**Waagen und Gewichte**



für **chemische und technische Zwecke**

**Spezialmodelle:**

Mikrochemische
Analysen-Waagen
Schnellwaagen
Dämpfungswaagen
Spezifische Waagen
Präzisionswaagen
Gewichte

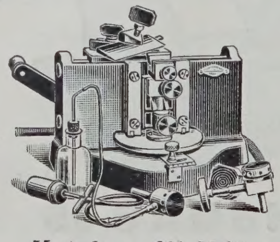
*

***Katalog „Präcis V6" kostenfrei***

Abt. III

**Mikrotome**

Handmikrotome
*
Schlittenmikrotome
*
Gefriermikrotome
*
Gehirnmikrotome



***Katalog „Mi. V6" kostenfrei***

Abt. IV

**Astronomische und Geodätische Instrumente**

Nivelliere
Theodolite
Bussolen
Winkel-Prismen
Astronomische
Schulfernrohre

*

***Katalog „Geo. V6" kostenfrei***


**Hierzu drei Beilagen vom Verlag Julius Springer in Berlin.**

Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig. — Verantwortlich für den Anzeigenteil: Albert Ulrich, Berlin-Steglitz.
Printed in Germany.

UNIVERSITY OF ILLINOIS-URBANA
3 0112 060782403